IBERDROLA

MT 2.23.35
Edición 01
Fecha: Julio, 2010

MANUAL TÉCNICO DE DISTRIBUCIÓN

DISEÑO DE PUESTAS A TIERRA EN APOYOS DE LAAT DE TENSIÓN NOMINAL IGUAL O INFERIOR A 20 kV

IBERDROLA

MT 2.23.35
Edición 01
Fecha: Julio, 2010

MANUAL TÉCNICO DE DISTRIBUCIÓN

DISEÑO DE PUESTAS A TIERRA EN APOYOS DE LAAT DE TENSIÓN NOMINAL IGUAL O INFERIOR A 20 kV

ÍNDICE

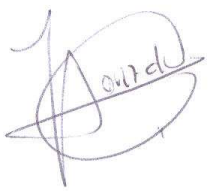
		Página
1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN..…….……..	2
2	UTILIZACIÓN..……	2
3	REGLAMENTACIÓN..……	2
4	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS..……	2
5	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA..……..	2
5.1	GENERALIDADES…….…..	2
5.2	Elementos del sistema de puesta a tierra y condiciones de montaje……..…..	3
5.3	Dimensionamiento a frecuencia industrial de los sistemas de puesta a tierra…	5
6	MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DE CONTACTO APLICADA..……..	30
7	VIGILANCIA PERIÓDICA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA…….	31
8	PROTOCOLO DE VALIDACIÓN EN CAMPO..…….	32
8.1	Apoyos No Frecuentados……..….	32
8.2	Apoyos Frecuentados con calzado...……..……	32

ANEXO-1.- HOJA DE TOMA DE DATOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN APOYOS NO FRECUENTADOS… 38

ANEXO-2.- HOJA DE TOMA DE DATOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN APOYOS FRECUENTADOS…….. 39

ANEXO-3.- APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCEDIMIENTO INDICADO EN EL MT, PARA EL DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA EN APOYOS DE LÍNEAS AÉREAS DE TENSIÓN NOMINAL INFERIOR O IGUAL A 20 kV……. 40

Preparado | **Aprobado**



1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este Manual Técnico (en adelante MT) establece y justifica las configuraciones de electrodos y medidas adoptadas para las puestas a tierra que han de emplearse en los apoyos de líneas aéreas de tensión nominal igual o inferior a 20 kV, que garantizan la seguridad para las personas, atendiendo a las exigencias establecidas en la reglamentación vigente. Así mismo se dan los criterios para el diseño, instalación y ensayo de los sistemas de puesta a tierra de manera que sean eficaces en todas las circunstancias y mantengan las tensiones de paso y contacto dentro de niveles aceptables.

2 UTILIZACIÓN

Este documento se utilizará como referencia en los Proyectos Tipo de líneas aéreas de tensión nominal, $U_n \leq 20$ kV, de Iberdrola.

3 REGLAMENTACIÓN

En la redacción de este MT se ha tenido en cuenta todas las especificaciones relativas a líneas aéreas contenidas en los Reglamentos siguientes:

- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT 01 a 09, aprobado por el Real Decreto 223/2008 y publicado en el B.O.E. núm. 68 del 19 de Marzo de 2008. (En adelante RLAT).
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, aprobado por el Real Decreto de 12-11-82 y publicado en el B.O.E. núm. 288 del 1-12-82 y las Instrucciones Técnicas Complementarias aprobadas por Orden de 6-7-84, y publicado en el B.O.E. núm. 183 del 1-8-84, y su posterior modificación, Orden de 10 de Marzo de 2000 publicada asimismo en el B.O.E. núm. 72 del 24 de Marzo de 2000.(En adelante RCE).

Además se han aplicado las normas internas de IBERDROLA, y en su defecto las normas UNE, EN y documentos de Armonización HD. Se tendrán en cuenta las Ordenanzas Municipales y los condicionados impuestos por los Organismos públicos afectados.

4 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

La ejecución de las instalaciones a que se refiere el presente documento, se ajustarán a todo lo indicado en el Capítulo IV "Ejecución de las Instalaciones", del MT 2.03.20.

5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

5.1 GENERALIDADES

Los sistemas de puesta a tierra especificados en este manual técnico, cumplen los requisitos siguientes:

1. Resistir los esfuerzos mecánicos y la corrosión.

2. Resistir, desde un punto de vista térmico, la corriente de falta más elevada determinada en el cálculo.
3. Garantizar la seguridad de las personas con respecto a tensiones que aparezcan durante una falta a tierra en los sistemas de puesta a tierra.
4. Proteger de daños a propiedades y equipos y garantizar la fiabilidad de la línea.

Estos requisitos dependen fundamentalmente de:

a. Método de puesta a tierra del neutro de la red: neutro aislado, neutro puesto a tierra mediante impedancia o neutro rígido a tierra.
b. Del tipo de apoyo en función de su ubicación: apoyos frecuentados y apoyos no frecuentados y del material constituyente del apoyo: conductor o no conductor.

Los apoyos que alberguen las botellas terminales de paso aéreo-subterráneo cumplirán los mismos requisitos que el resto de apoyos en función de su ubicación.

Los apoyos que alberguen aparatos de maniobra cumplirán los mismos requisitos que los apoyos frecuentados, exclusivamente a efectos de su diseño de puesta a tierra. Los apoyos que soporten transformadores cumplirán el RCE.

5.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y CONDICIONES DE MONTAJE

5.2.1. Generalidades

El sistema de puesta a tierra está constituido por uno o varios electrodos de puesta a tierra enterrados en el suelo y por la línea de tierra que conecta dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra.

Los electrodos de puesta a tierra empleados son de material, diseño, dimensiones, colocación en el terreno y número apropiados para la naturaleza y condiciones del terreno, de modo que garantizan una tensión de contacto dentro de los niveles aceptables.

El tipo o modelo, dimensiones y colocación (bajo la superficie del terreno) de los electrodos de puesta a tierra, que se incluyen en el presente MT, figurarán claramente en un plano que formará parte del MT de ejecución de la línea, de modo que pueda ser aprobado por el órgano competente de la Administración.

5.2.2. Electrodos de puesta a tierra

Los electrodos de puesta a tierra se dispondrán de las siguientes formas:

a. Electrodos horizontales de puesta a tierra constituidos por cables enterrados, desnudos, de cobre de 50 mm^2, dispuestos en forma de bucles perimetrales.
b. Picas de tierra verticales, de acero cobrizado de 14 mm de diámetro, y de 1,5 metros de longitud, que podrán estar formadas por elementos empalmables.

5.2.2.1 Instalación de electrodos horizontales de puesta a tierra

El electrodo de puesta a tierra estará situado a una profundidad suficiente para evitar el efecto de la congelación del agua ocluida en el terreno. Los electrodos horizontales de puesta a tierra se situarán a una profundidad mínima de 0,5 m (habitualmente entre 0,5 m y 1 m). Esta medida garantiza una cierta protección mecánica.

Los electrodos horizontales de puesta a tierra se colocarán en el fondo de una zanja perimetral al macizo de hormigón de la cimentación, a una distancia de 1 m de dicho macizo, de forma que:

a. se rodeen con tierra ligeramente apisonada.
b. las piedras o grava no estén directamente en contacto con los electrodos de puesta a tierra enterrados.
c. cuando el suelo natural sea corrosivo para el tipo de metal que constituye el electrodo, el suelo se reemplace por un relleno adecuado.

5.2.2.2 Instalación de picas de tierra verticales

Las picas verticales son particularmente ventajosas cuando la resistividad del suelo decrece mucho con la profundidad. Se clavarán en el suelo empleando herramientas apropiadas para evitar que los electrodos se dañen durante su hincado.

La parte superior de cada pica quedará situada siempre por debajo del nivel de tierra y a la profundidad que corresponda en función del electrodo tipo seleccionado.

5.2.2.3 Unión de los electrodos de puesta a tierra

Las uniones utilizadas para conectar las partes conductoras de una red de tierras, con los electrodos de puesta a tierra dentro de la propia red, tendrán las dimensiones adecuadas para asegurar una conducción eléctrica y un esfuerzo térmico y mecánico equivalente a los de los propios electrodos.

Los electrodos de puesta tierra serán resistentes a la corrosión y no deben ser susceptibles de crear pares galvánicos.

Las uniones usadas para el ensamblaje de picas deben tener el mismo esfuerzo mecánico que las picas mismas y deben resistir fatigas mecánicas durante su colocación. Cuando se tengan que conectar metales diferentes, que creen pares galvánicos, pudiendo causar una corrosión galvánica, las uniones se realizarán mediante piezas de conexión bimetálica apropiadas para limitar estos efectos.

5.2.3. Conexión de los apoyos a tierra

Todos los apoyos de material conductor o de hormigón armado deberán conectarse a tierra mediante una conexión específica.

Los apoyos de material no conductor no necesitan tener puesta a tierra.

Además, todos los apoyos frecuentados, salvo los de material aislante, deben ponerse a tierra.

La conexión específica a tierra de los apoyos de hormigón armado podrá efectuarse de las dos formas siguientes:

a. Conectando a tierra directamente los herrajes o armaduras metálicas a las que estén fijados los aisladores, mediante un conductor de conexión.
b. Conectando a tierra la armadura del hormigón, siempre que la armadura reúna las condiciones que se exigen para los conductores que constituyen la línea de tierra. Sin embargo, esta forma de conexión no se admitirá en los apoyos de hormigón pretensado.

La conexión a tierra de los pararrayos instalados en apoyos no se realizará ni a través de la estructura del apoyo metálico ni de las armaduras, en el caso de apoyos de hormigón armado. Los chasis de los aparatos de maniobra podrán ponerse a tierra a través de la estructura del apoyo metálico.

5.3. DIMENSIONAMIENTO A FRECUENCIA INDUSTRIAL DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

5.3.1. Generalidades

Los parámetros pertinentes para el dimensionamiento de los sistemas de puesta a tierra son:

a. Valor de la corriente de falta.
b. Duración de la falta.

Estos dos parámetros dependen principalmente del método de la puesta a tierra del neutro de la red.

c) Características del suelo.

5.3.2. Dimensionamiento con respecto a la corrosión y a la resistencia mecánica

Para el dimensionamiento con respecto a la corrosión y a la resistencia mecánica de los electrodos se seguirán los criterios indicados en el apartado 3 de la MIE-RAT 13 del RCE.

Los electrodos de tierra que están directamente en contacto con el suelo (cables desnudos de cobre y picas de acero cobrizado) serán de materiales capaces de resistir, de forma general, la corrosión (ataque químico o biológico, oxidación, formación de un par electrolítico, electrólisis, etc.). Así mismo resistirán, generalmente, las tensiones mecánicas durante su instalación, así como aquellas que ocurren durante el servicio normal.

5.3.3. Dimensionamiento con respecto a la resistencia térmica

Para el dimensionamiento con respecto a la resistencia térmica de los electrodos se seguirán los criterios indicados en la MIE-RAT 13 del RCE.

5.3.3.1. Generalidades

La máxima intensidad de corriente de defecto a tierra depende de la red eléctrica. Sus valores máximos son proporcionados en el punto 3) del apartado 5.3.4.3 de este MT.

5.3.3.2. Cálculo de la corriente

El cálculo de la sección de los electrodos de puesta a tierra depende del valor y la duración de la corriente de falta, por lo que tendrán una sección tal que puedan soportar, sin un calentamiento peligroso, la máxima corriente de fallo a tierra prevista, durante un tiempo doble al de accionamiento de las protecciones de la línea. Para corrientes de falta que son interrumpidas en menos de 5 segundos, se podrá contemplar un aumento de temperatura adiabático. La temperatura final deberá ser elegida con arreglo al material del electrodo o conductor de puesta a tierra y alrededores del entorno.

Se respetarán las dimensiones y secciones mínimas indicadas en el apartado 5.2.2.

5.3.4. Dimensionamiento con respecto a la seguridad de las personas

5.3.4.1. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada

Cuando se produce una falta a tierra, partes de la instalación se pueden poner en tensión, y en el caso de que una persona o animal estuviese tocándolas, podría circular a través de él una corriente peligrosa.

En la ITC-LAT 07 del RLAT, se establecen los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada, U_{ca}, a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta. Estos valores se dan en la figura 1:

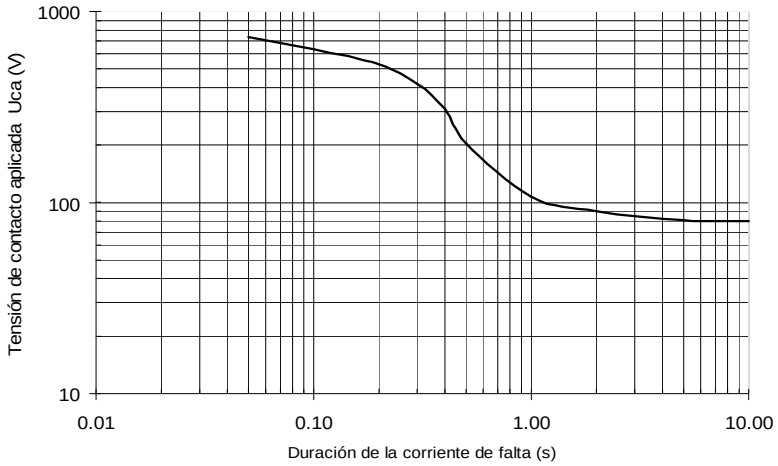


Figura 1. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta.

En la tabla 1 se muestran valores de algunos de los puntos de la curva anterior:

Duración de la corriente de falta, t_F (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U_{ca} (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
0.60	185
0.70	165
0.80	146
0.9	126
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Tabla 1. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta t_F

Salvo casos excepcionales justificados, no se considerarán tiempos de duración de la corriente de falta inferiores a 0,1 segundos.

Para las tensiones de paso no es necesario definir valores admisibles, ya que los valores admisibles de las tensiones de paso aplicadas son mayores que los valores admisibles en las tensiones de contacto aplicadas. Cuando las tensiones de contacto calculadas sean superiores a los valores máximos admisibles, se recurrirá al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir el riesgo de las personas y de los bienes, en cuyo caso será necesario cumplir los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas, debiéndose tomar como referencia lo establecido en el RCE.

5.3.4.2. Valores de las tensiones máximas de contacto y, en su caso, de paso, admisibles para la instalación

La ITC-LAT 07 del RLAT establece las máximas tensiones de contacto admisibles en la instalación, U_c. Para determinar las máximas tensiones de contacto admisibles, U_c, se emplea la siguiente expresión:

$$U_C = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2.Z_B} \right] \quad (V) \qquad (1)$$

donde:

- $\boldsymbol{U_c}$, es la máxima tensión de contacto admisible en la instalación en V.

- U_{ca}, es la tensión de contacto aplicada admisible, tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies (tabla 1).
- R_{a1}, es la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000 Ω.
- R_{a2}, es, la resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. $R_{a2} = 3.\rho_s$, siendo ρ_s la resistividad del suelo cerca de la superficie.
- Z_B, es la impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000 Ω.

Para poder identificar los apoyos en los que se debe garantizar los valores admisibles de las tensiones de contacto, en la ITC-LAT 07 del RLAT se establece la clasificación de los apoyos según su ubicación en apoyos frecuentados y apoyos no frecuentados.

a) Apoyos Frecuentados. Son los situados en lugares de acceso público y donde la presencia de personas ajenas a la instalación eléctrica es frecuente: donde se espere que las personas se queden durante tiempo relativamente largo, algunas horas al día durante varias semanas, o por un tiempo corto pero muchas veces al día, por ejemplo, cerca de áreas residenciales o campos de juego. Los lugares que solamente se ocupan ocasionalmente, como bosques, campo abierto, campos de labranza, etc., no están incluidos.

El diseño del sistema de puesta a tierra de este tipo de apoyos debe ser verificado según se indica en el apartado 5.3.4.3.

Desde el punto de vista de la seguridad de las personas, los apoyos frecuentados podrán considerarse exentos del cumplimiento de las tensiones de contacto en los siguientes casos:

1. Cuando se aíslen los apoyos de tal forma que todas las partes metálicas del apoyo queden fuera del volumen de accesibilidad limitado por una distancia horizontal mínima de 1,25 m, utilizando para ello vallas aislantes.
2. Cuando todas las partes metálicas del apoyo queden fuera del volumen de accesibilidad limitado por una distancia horizontal mínima de 1,25 m, debido a agentes externos (orografía del terreno, obstáculos naturales, etc.).
3. Cuando el apoyo esté recubierto por placas aislantes o protegido por obra de fábrica de ladrillo hasta una altura de 2,5 m, de forma que se impida la escalada al apoyo.

En estos casos, no obstante, habrá que garantizar que se cumplen las tensiones de paso aplicadas, especificadas en la MIE-RAT 13 del RCE.

La MIE-RAT 13 del RCE, establece la máxima tensión de paso admisible en la instalación, U_P. A efectos de los cálculos, para determinar la máxima tensión paso admisible se emplea la siguiente expresión:

Tensión de paso: $$U_p = U_{pa}\left[1+\frac{2R_{a1}+2R_{a2}}{Z_b}\right] \quad (V) \qquad (2)$$

donde:

- U_p, es la máxima tensión de paso admisible en la instalación en V.

- U_{pa}, es la tensión de paso aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los dos pies.

$$U_{pa} = 10.\frac{K}{t^n}$$

K = 72 y n = 1 para tiempos inferiores a 0,9 segundos.

K = 78,5 y n = 0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos.

t = duración de la falta en segundos.

- R_{a1}, es la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000 Ω.
- R_{a2}, es, la resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. $R_{a2} = 3.\rho_s$,, siendo ρ_s la resistividad del suelo cerca de la superficie.
- Z_B, es la impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000 Ω.

En el caso de que una persona pudiera estar pisando zonas de diferentes resistividades con cada pie, por ejemplo en el caso de apoyo con acera perimetral, la tensión de paso de acceso máxima admisible tiene como valor:

$$U_{p,acceso} = 10.\frac{K}{t^n}.\left[1+\frac{2R_{a1}+3\rho_S+3\rho_s^*}{Z_b}\right] \quad (V) \qquad (3)$$

donde:

ρ_s*, es la resistividad de la capa superficial (material constituyente de la acera perimetral, normalmente de hormigón). El valor considerado para el hormigón es de 3000 Ω.m.

Los apoyos frecuentados se clasifican en dos subtipos:

a.1) Apoyos frecuentados con calzado. Para el presente MT, se emplea como valor de la resistencia del calzado, para cada pie, 2000 Ω.

$$R_{a1} = 2000 \quad \Omega$$

Estos apoyos serán los situados en lugares donde se puede suponer, razonadamente, que las personas estén calzadas, como pavimentos de carreteras públicas, lugares de aparcamiento, etc.

a.2) Apoyos frecuentados sin calzado. La resistencia adicional del calzado, R_{a1}, será nula.

$$R_{a1} = 0\ \Omega$$

Estos apoyos serán los situados en lugares como jardines, piscinas, camping, áreas recreativas donde las personas puedan estar con los pies desnudos.

b) Apoyos No Frecuentados. Son los situados en lugares que no son de acceso público o donde el acceso de personas es poco frecuente.

5.3.4.3 Verificación del diseño del sistema de puesta a tierra

La verificación de los sistemas de puesta a tierra empleados para apoyos de líneas aéreas no frecuentados, frecuentados con calzado y frecuentados sin calzado, sigue el procedimiento que se describe a continuación:

1) Establecimiento de las características del suelo.

El establecimiento de las características del suelo significa obtener la resistividad del terreno. Este valor puede ser obtenido de dos formas:

- Según se especifica en la MIE-RAT 13 del RCE, en función de la naturaleza del terreno, para el caso de instalaciones de tercera categoría y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA.
- Utilizando alguno de los métodos sancionados por la práctica para su medida, como es el método de Wenner.

Los valores de resistividad del terreno considerados para los diferentes sistemas de puesta a tierra propuestos en el presente MT son:

200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1000 Ω.m

2) Elección del sistema de puesta a tierra y cálculo de la resistencia de tierra.

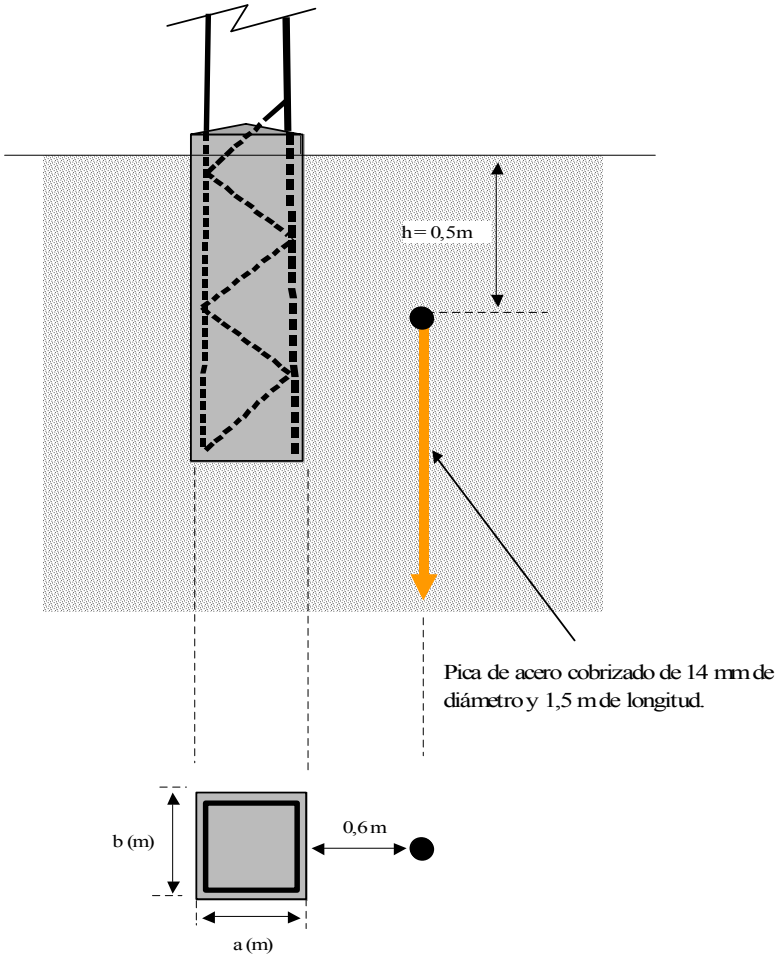
1. El electrodo a emplear para su utilización en el caso de líneas aéreas con apoyos no frecuentados, tal como especifica el apartado 7.3.4.3 de la ITC LAT-07 del RLAT, proporcionará un valor de la resistencia de puesta a tierra lo suficientemente bajo para garantizar la actuación de las protecciones en caso de defecto a tierra. Dicho valor, véase tabla 4 del presente MT, se podrá conseguir mediante la utilización de una sola pica de acero cobrizazo de 1,5 m de longitud y 14 mm de diámetro, enterrado como mínimo a 0,5 m de profundidad. Si no es posible alcanzar, mediante una sola pica, los valores de resistencia indicados en la tabla 4, se añadirán picas al electrodo enterrado, siguiendo la periferia del apoyo, hasta completar un anillo de cuatro picas (véase figura 2), añadiendo, si es necesario a dicho anillo, picas en hilera de igual longitud, separadas 3 m entre sí . El conductor de unión entre picas será de cobre de 50 mm^2 de sección.

2. La configuración tipo del electrodo a emplear para su utilización en el caso de líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado será la de un bucle perimetral con la cimentación, cuadrado, a una distancia horizontal de 1m. como mínimo, formado por conductor de cobre de 50 mm^2 de sección, enterrado como mínimo a 0,5 m de profundidad, al que se conectarán en cada uno de sus vértices cuatro picas de acero cobrizado de 1,5 m de longitud y 14 mm de diámetro. (véase figura 3). En todo caso la resistencia de puesta a tierra presentada por el electrodo, en ningún caso debe ser superior a 50 Ω. Si no es posible alcanzar este valor, mediante la configuración tipo, y hasta conseguir los 50 Ω, se añadirá, a dicha configuración, picas en hilera, de igual longitud, separadas 3 m entre sí.

3. La configuración tipo del electrodo a emplear para su utilización en el caso de líneas aéreas con apoyos frecuentados sin calzado será la de un bucle perimetral con la cimentación, cuadrado, a una distancia horizontal de 1 m, como mínimo, formado por conductor de cobre de 50 mm^2 de sección, enterrado como mínimo a 1 m de profundidad, al que se conectarán en cada uno de sus vértices cuatro picas de acero cobrizado de 1,5 m de longitud y 14 mm de diámetro. (véase figura 4).

   Esta configuración, con los electrodos enterrados a una profundidad mayor que la indicada para apoyos frecuentados con calzado, tiene la ventaja de que las tensiones de paso son menores.

En todo caso la resistencia de puesta a tierra presentada por el electrodo, en ningún caso debe ser superior a 50 Ω. Si no es posible alcanzar este valor, mediante la configuración tipo, y hasta conseguir los 50 Ω, se añadirán, a dicha configuración, picas en hilera, de igual longitud, separadas 3 m entre sí.



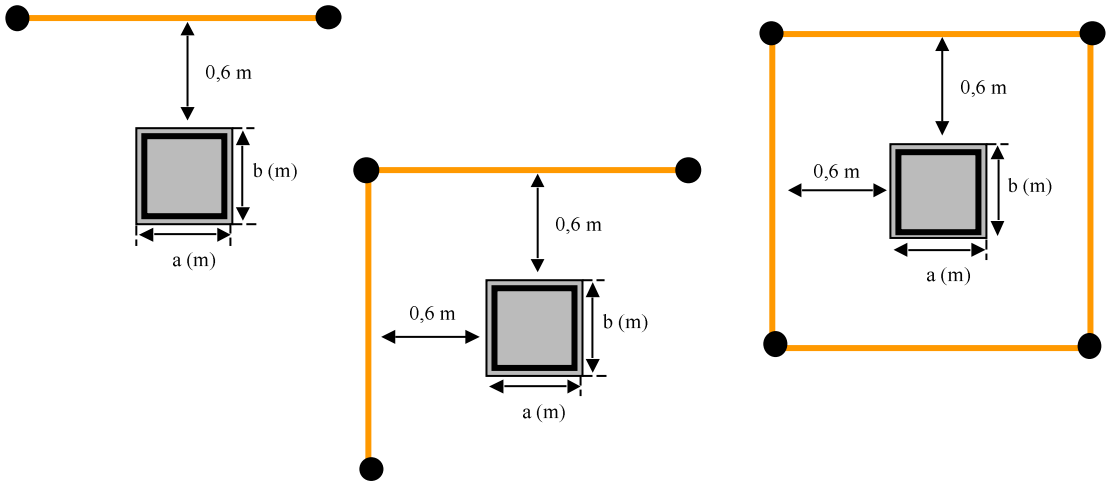


Figura 2. Configuración del electrodo de puesta a tierra para apoyos no frecuentados.

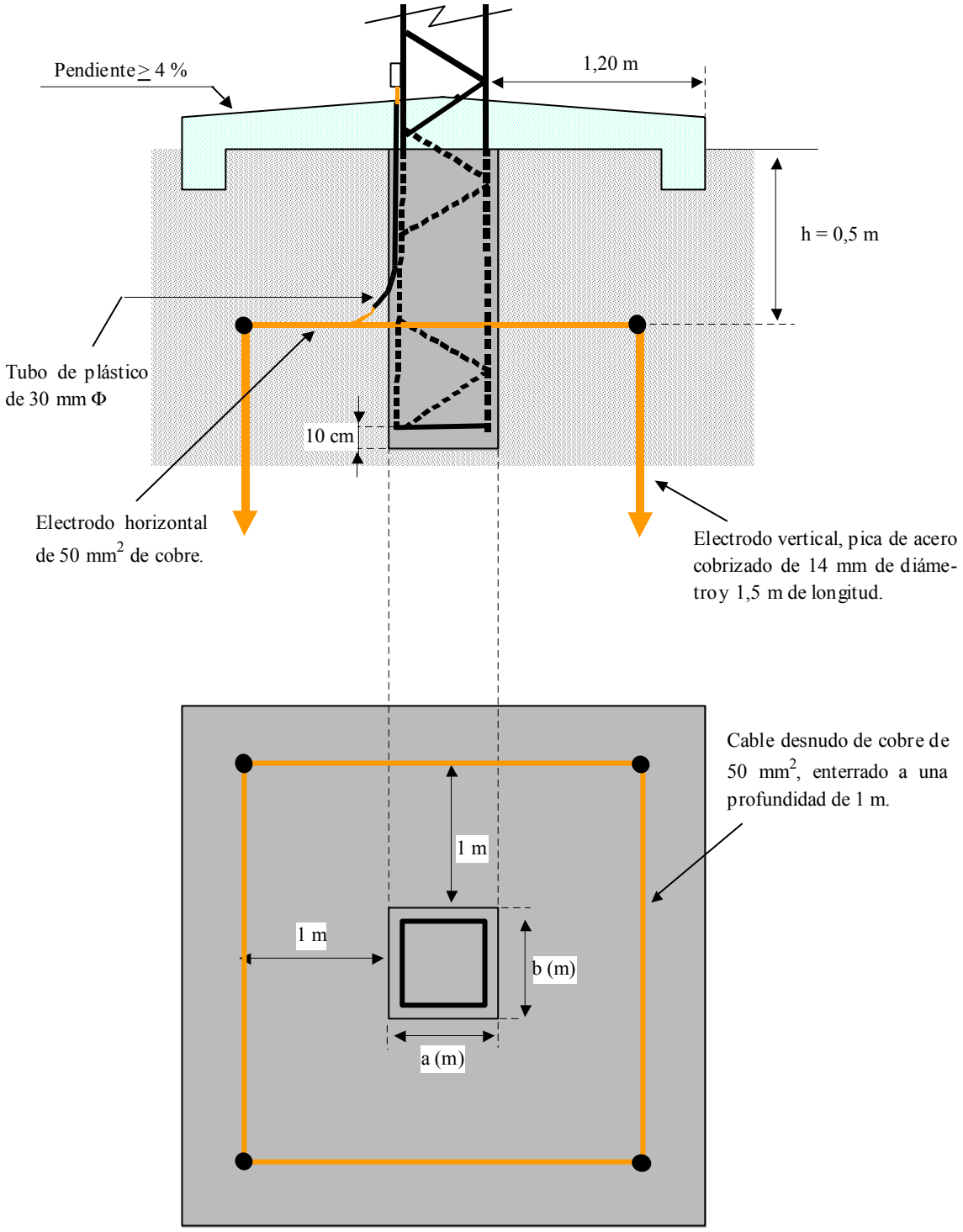

Pendiente ≥ 4 %
1,20 m
h = 0,5 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm² de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Cable desnudo de cobre de 50 mm², enterrado a una profundidad de 1 m.
1 m
1 m
b (m)
a (m)

Figura 3. Configuración del electrodo de puesta a tierra para apoyos frecuentados con calzado.

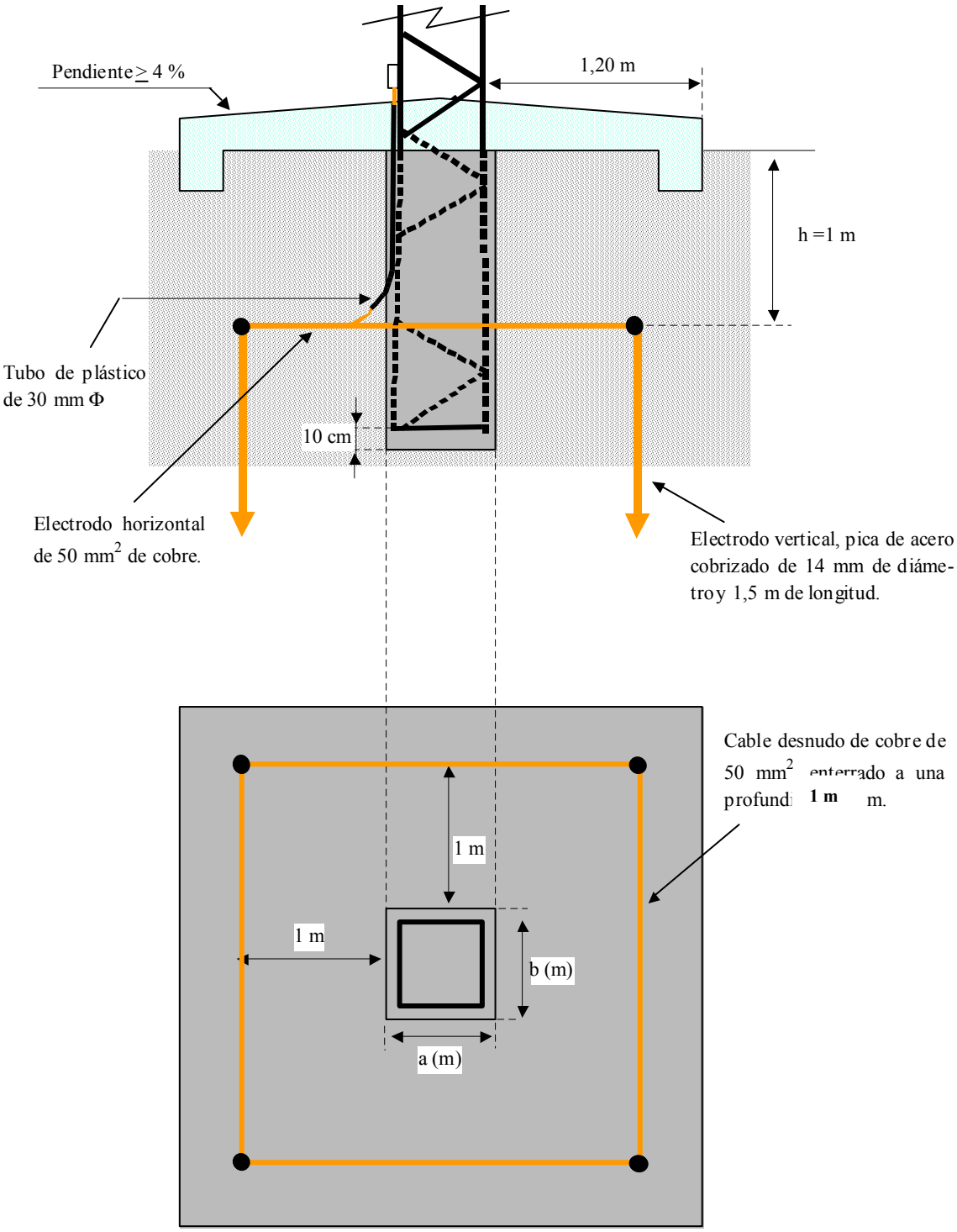
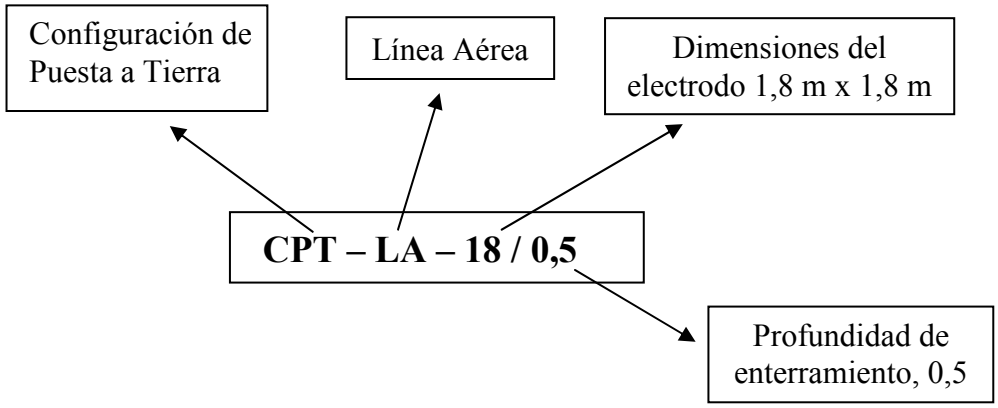

Pendiente ≥ 4 %
1,20 m
h =1 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm2 de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Cable desnudo de cobre de 50 mm2 enterrado a una profundidad de 1 m.
1 m
1 m
b (m)
a (m)

Figura 4. Configuración del electrodo de puesta a tierra para apoyos frecuentados sin calzado.

En este MT se indica el procedimiento a seguir para la justificación del cumplimiento de los electrodos indicados anteriormente con el RLAT, habiéndose elegido dentro de todos los posibles electrodos a utilizar, aquellos que se corresponden con las dimensiones de las cimentaciones, a (m) x b (m), de los apoyos habitualmente empleados en líneas aéreas cuyos niveles de tensión nominal están dentro de los especificados para este MT (13,2 kV, 15 kV y 20 kV).

Las configuraciones de electrodos que se utilizan en el presente MT, para los apoyos frecuentados, se designan mediante siglas y números, tal como se indica en el ejemplo siguiente:


Configuración de Puesta a Tierra
Línea Aérea
Dimensiones del electrodo 1,8 m x 1,8 m
CPT – LA – 18 / 0,5
Profundidad de enterramiento, 0,5

Las dimensiones de los electrodos y su designación se indican en las tablas 2 y 3.

Dimensiones de la cimentación a (m) x b (m)	Dimensiones del electrodo (m)	Designación del electrodo
0,6 x 0,6	2,6 x 2,6	CPT-LA-26 / 0,5
0,8 x 0,8	2,8 x 2,8	CPT-LA-28 / 0,5
1 x 1	3 x 3	CPT-LA-30 / 0,5
1,2 x 1,2	3,2 x 3,2	CPT-LA-32 / 0,5
1,4 x 1,4	3,4 x 3,4	CPT-LA-34 / 0,5
1,6 x 1,6	3,6 x 3,6	CPT-LA-36 / 0,5
1,8 x 1,8	3,8 x 3,8	CPT-LA-38 / 0,5
2 x 2	4 x 4	CPT-LA-40 / 0,5
2,2 x 2,2	4,2 x 4,2	CPT-LA-42 / 0,5
2,4 x 2,4	4,4 x 4,4	CPT-LA-44 / 0,5
2,6 x 2,6	4,6 x 4,6	CPT-LA-46 / 0,5
2,8 x 2,8	4,8 x 4,8	CPT-LA-48 / 0,5
3 x 3	5 x 5	CPT-LA-50 / 0,5

Tabla 2.- Tipos de electrodos utilizados en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado.

Dimensiones de la cimentación a (m) x b (m)	Dimensiones del electrodo (m)	Designación del electrodo
0,6 x 0,6	2,6 x 2,6	CPT-LA-26 / 1
0,8 x 0,8	2,8 x 2,8	CPT-LA-28 / 1
1 x 1	3 x 3	CPT-LA-30 / 1
1,2 x 1,2	3,2 x 3,2	CPT-LA-32 / 1
1,4 x 1,4	3,4 x 3,4	CPT-LA-34 / 1
1,6 x 1,6	3,6 x 3,6	CPT-LA-36 / 1
1,8 x 1,8	3,8 x 3,8	CPT-LA-38 / 1
2 x 2	4 x 4	CPT-LA-40 / 1
2,2 x 2,2	4,2 x 4,2	CPT-LA-42 / 1
2,4 x 2,4	4,4 x 4,4	CPT-LA-44 / 1
2,6 x 2,6	4,6 x 4,6	CPT-LA-46 / 1
2,8 x 2,8	4,8 x 4,8	CPT-LA-48 / 1
3 x 3	5 x 5	CPT-LA-50 / 1

Tabla 3.- Tipos de electrodos utilizados en líneas aéreas con apoyos frecuentados sin calzado.

Para el caso de apoyos no frecuentados el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra, en función de la tensión nominal de la red, será la indicada en la tabla 4.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Máximo valor de la resistencia de puesta a tierra (Ω)
13,2	150
15	175
20	230

Tabla 4.- Valores máximos de la resistencia a tierra en apoyos no frecuentados

Los valores de resistencia indicados anteriormente deben de confirmarse con medidas en el terreno sin recurrir a rellenos diferentes del propio terreno.

Los valores de la resistencia de puesta a tierra correspondientes a las configuraciones tipo establecidas en el presente MT se pueden obtener multiplicando el coeficiente K_r, por el valor de la resistividad del terreno en Ω.m.

Para las configuraciones correspondientes a apoyos no frecuentados el valor de Kr se indica en la tabla 5.

Electrodo	K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m}\right)$
Configuración básica (1 pica)	0,604
Variante con 2 picas	0,244
Variante con 3 picas	0,167

Tabla 5. Coeficiente de resistencia de puesta a tierra K_r, para electrodos utilizados en líneas aéreas con apoyos no frecuentados

Para las configuraciones correspondientes a apoyos frecuentados el valor de Kr se indica en las tablas 6 y 7.

Designación del electrodo	K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m}\right)$
CPT-LA-26 / 0,5	0,128
CPT-LA-28 / 0,5	0,123
CPT-LA-30 / 0,5	0,118
CPT-LA-32 / 0,5	0,113
CPT-LA-34 / 0,5	0,109
CPT-LA-36 / 0,5	0,105
CPT-LA-38 / 0,5	0,102
CPT-LA-40 / 0,5	0,098
CPT-LA-42 / 0,5	0,095
CPT-LA-44 / 0,5	0,092
CPT-LA-46 / 0,5	0,089
CPT-LA-48 / 0,5	0,087
CPT-LA-50 / 0,5	0,084

Tabla 6. Coeficiente de resistencia de puesta a tierra K_r, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado.

Designación del electrodo	K_r $\left(\frac{\Omega}{\Omega.m}\right)$
CPT-LA-26 / 1	0,120
CPT-LA-28 / 1	0.115
CPT-LA-30 / 1	0,110
CPT-LA-32 / 1	0,106
CPT-LA-34 / 1	0,102
CPT-LA-36 / 1	0,099

CPT-LA-38 / 1	0,096
CPT-LA-40 / 1	0,092
CPT-LA-42 / 1	0,090
CPT-LA-44 / 1	0,087
CPT-LA-46 / 1	0,084
CPT-LA-48 / 1	0,082
CPT-LA-50 / 1	0,080

Tabla 7. Coeficiente de resistencia de puesta a tierra K_r, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados sin calzado .

3) Cálculo de las intensidades máximas de corriente de defecto a tierra.

Para el cálculo de las intensidades máximas de corriente de defecto a tierra se tiene en cuenta que el tipo de defecto a tierra es monofásico, tomando las intensidades máximas en los distintos niveles de tensión existentes en la instalación.

La intensidad de defecto a tierra depende, entre otros parámetros, de:

- La impedancia de puesta a tierra de servicio de la subestación (en adelante ST).
- La tolerancia de la impedancia de puesta a tierra de servicio de la ST.
- La impedancia del transformador de la ST.
- La tensión máxima del transformador de la ST.
- La propia impedancia de puesta a tierra de protección en el apoyo.
- La corriente que se deriva por las pantallas de los cables subterráneos o por los hilos de guarda de las líneas aéreas.

Para el diseño de la instalación de puesta a tierra de un apoyo, se parte de la intensidad máxima de defecto a tierra, sin considerar el valor de la impedancia de la puesta a tierra de protección del apoyo, puesto que, inicialmente, se desconoce.

Para calcular la intensidad máxima de defecto a tierra, teniendo en cuenta la impedancia de puesta a tierra de servicio de la ST y del apoyo, es necesario conocer el equivalente Thévenin para fallo monofásico de la red.

Para este MT se considerará que la corriente de puesta a tierra es igual a la corriente de defecto, es decir, que toda la corriente de defecto circula por el electrodo de puesta a tierra, despreciando la corriente que se deriva por las pantallas de los cables o los hilos de guarda, si estos existieran.

Equivalentes Thévenin para fallo monofásico a tierra

Los distintos sistemas de puesta a tierra de servicio en la red de distribución de Media Tensión de Iberdrola, dan lugar a un circuito equivalente Thévenin para el fallo monofásico. A continuación se representan los circuitos trifilares y los circuitos equivalentes Thévenin.

El circuito trifilar del lado de Media Tensión del transformador de la ST para los distintos sistemas de puesta a tierra de Iberdrola se puede unificar en el representado en la figura 5.

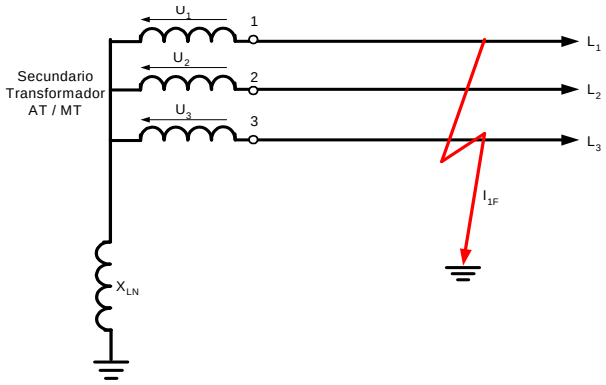


Figura 5.- Esquema trifilar con estrella puesta a tierra por reactancia, lado de MT de ST.

El equivalente Thévenin correspondiente a un fallo monofásico se representa en la figura 6. Se considera el factor de tensión c = 1,1, según Norma UNE-EN 60909-1. Este factor tiene en cuenta:

- La variación de la tensión en el espacio y en el tiempo.
- Tolerancia "negativa" de la impedancia de puesta a tierra, etc.
- La variación en la posición de las tomas de regulación de tensión de los transformadores.
- El comportamiento subtransitorio de los alternadores y motores.

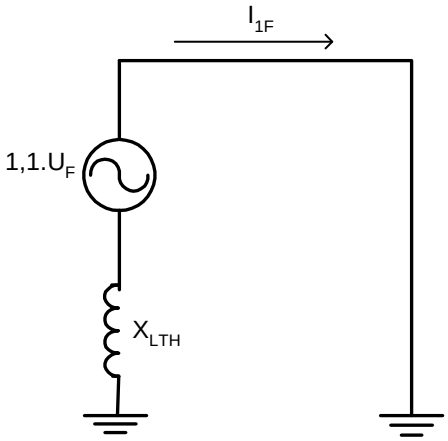


Figura 6. Equivalente Thévenin para el cálculo de la intensidad de falta a tierra máxima con neutro puesto a tierra por reactancia.

A continuación se definen, en la tabla 8, para los diferentes sistemas de puesta a tierra adoptados por Iberdrola en cada una de las subestaciones, los valores adoptados para la corriente máxima de defecto a tierra, empleados para la verificación de las configuraciones tipo de los sistemas de puesta a tierra descritos anteriormente.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Tipo de puesta a tierra	Reactancia equivalente X_{LTH} (Ω)	Intensidad máxima de corriente de defecto a tierra (A)
13,2	Rígido	1,863	4500
13,2	Reactancia 4 Ω	4,5	1863
15	Rígido	2,117	4500
15	Reactancia 4 Ω	4,5	2117
20	Reactancia 5,2 Ω	5,7	2228
20	Zig-zag 500 A	25,4	500
20	Zig-zag 1000 A	12,7	1000

Tabla 8. Intensidades máximas de puesta a tierra e impedancias equivalentes para cada nivel de tensión y tipo de puesta a tierra de la ST.

4) Cálculo de la intensidad de la corriente de puesta a tierra en el apoyo.

Para el cálculo de las intensidades de las corrientes de defecto a tierra y de puesta a tierra (en nuestro caso la misma), se ha de tener en cuenta la forma de conexión del neutro a tierra en la ST, la configuración y características de la red durante el período subtransitorio y la resistencia de puesta a tierra del electrodo considerado, R_T de la figura 7.

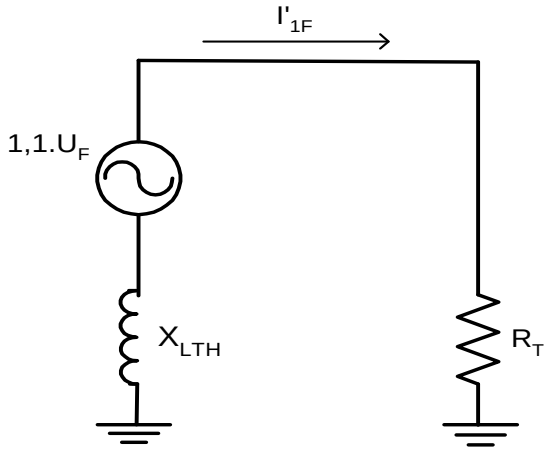


Figura 7. Equivalente Thévenin para el cálculo de la intensidad máxima de defecto a tierra en redes con puesta a tierra por reactancia, teniendo en cuenta la impedancia de PAT de protección del apoyo R_T

Los puntos 5 a 11, que a continuación se describen dentro de este apartado 5.3.4.3 “Verificación del diseño del sistema de puesta a tierra”, se utilizarán para verificar los sistemas de puesta a tierra empleados en apoyos frecuentados.

Para garantizar el diseño correcto de la puesta a tierra de los apoyos no frecuentados, tal como indica el apartado 7.3.4.3 de la ITC LAT- 07 del RLAT, se debe de cumplir que la línea esté provista con desconexión automática inmediata (en un tiempo inferior a 1 segundo) para su protección.

La característica de actuación de las protecciones instaladas en las líneas aéreas de Iberdrola de tensión nominal igual o inferior a 20 kV, garantiza la actuación de las protecciones en un tiempo, t, inferior al determinado por la relación siguiente:

$$I'_{1F}.t = 400.$$

siendo $I'_{1F,}$ la intensidad de la corriente de defecto a tierra, en amperios y t, el tiempo de actuación de las protecciones en segundos.

Para las intensidades máximas de la corriente de defecto a tierra indicadas en la tabla 7 ($I'_{1F}= I_{1F)}$, las protecciones instaladas actúan en un tiempo inferior a 1 s. Para cualquier otra intensidad de defecto a tierra el diseño de la puesta a tierra en los apoyos no frecuentados, se considera satisfactorio desde el punto de vista de la seguridad de las personas, ya que los valores de la resistencia de puesta a tierra máximos admisibles, indicados en la tabla 4, provocan una intensidad de defecto a tierra suficientemente alta para garantizar la actuación automática de las protecciones en caso de defecto a tierra.

Nótese que el tiempo de actuación variará en función de la intensidad de defecto a tierra y la curva de relé, pero en ningún caso superará los 10 s.

5) Cálculo de la tensión de contacto máxima para el electrodo considerado.

Con el valor de la intensidad de defecto a tierra calculada y utilizando el método de Howe, se determina el valor máximo de la tensión de contacto que aparece en la instalación, para cada uno de los electrodos de puesta a tierra considerados.

Los valores máximos de la tensión de contacto en la instalación, en voltios, para cada una de las configuraciones tipo establecidas en este MT, se pueden obtener multiplicando el coeficiente K_c, indicado en las tablas 9 y 10, por el valor de la resistividad del terreno en Ω.m y por el valor de la intensidad máxima de defecto a tierra I'_{1F} en amperios. El valor de K_c, corresponde a la máxima tensión de contacto unitaria de las calculadas a distancias del apoyo inferiores o iguales a 1 metro.

Designación del electrodo	K_c $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
CPT-LA-26 / 0,5	0,037
CPT-LA-28 / 0,5	0,036
CPT-LA-30 / 0,5	0,036
CPT-LA-32 / 0,5	0,035
CPT-LA-34 / 0,5	0,034
CPT-LA-36 / 0,5	0,034
CPT-LA-38 / 0,5	0,033
CPT-LA-40 / 0,5	0,032
CPT-LA-42 / 0,5	0,031
CPT-LA-44 / 0,5	0,031
CPT-LA-46 / 0,5	0,030
CPT-LA-48 / 0,5	0,029
CPT-LA-50 / 0,5	0,029

Tabla 9.Coeficiente de tensión de contacto K_c, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado.

Designación del electrodo	K_c $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
CPT-LA-26 / 1	0,041
CPT-LA-28 / 1	0,039
CPT-LA-30 / 1	0,037
CPT-LA-32 / 1	0,036
CPT-LA-34 / 1	0,035
CPT-LA-36 / 1	0,034
CPT-LA-38 / 1	0,033
CPT-LA-40 / 1	0,032
CPT-LA-42 / 1	0,031
CPT-LA-44 / 1	0,030
CPT-LA-46 / 1	0,030
CPT-LA-48 / 1	0,029
CPT-LA-50 / 1	0,028

Tabla 10. Coeficiente de tensión de contacto K_c, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas, con apoyos frecuentados sin calzado.

6) Determinación de tensión de contacto aplicada.

A partir del valor de la tensión de contacto existente en la instalación U'_c, obtenida con el coeficiente K_c, según la ecuación (1), se determina la tensión de contacto aplicada, U'_{ca}.

$$U'_{ca} = \frac{U'c}{\left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2.Z_B}\right]} \quad (V) \qquad (4)$$

7) Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento del RLAT.

La determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones en caso de falta a tierra) se realiza utilizando la figura 1, donde se puede obtener dicho tiempo en función del valor determinado para la tensión de contacto aplicada, U'_{ca}, obtenida de la ecuación (4).

8) Verificación del sistema de puesta a tierra elegido.

El sistema de puesta a tierra elegido será válido siempre y cuando los tiempos de actuación de las protecciones instaladas en la red de distribución, para el caso de faltas a tierra, sean inferiores a los valores obtenidos en el punto 7.

Si esto no es así, o si los tiempos obtenidos son inferiores a 0,1 s (valor límite especificado en el apartado 1.1 de la MIE-RAT 13 del RCE), y a fin de reducir los riesgos a las personas y los bienes se recurre al empleo de medidas adicionales, tal como establece la ITC-LAT 07 del RLAT. Estas medidas, pueden ser:

a. Macizo de hormigón con mallazo unido al electrodo de puesta a tierra, de 1,2 m de ancho, perimetral con la cimentación del apoyo.
b. Sistemas antiescalo de fábrica de ladrillo o aislantes que impidan el contacto con las partes metálicas puestas a tierra.
c. Acera de hormigón, de 1,20 m, perimetral con la cimentación del apoyo.

Los estudios realizados con los electrodos anteriormente indicados, utilizando las intensidades de defecto a tierra y los tiempos de actuación de las protecciones propios de las redes de Iberdrola y para resistividades del terreno entre 200 y 1000 Ω.m, demuestran que es imposible cumplir con el valor reglamentario de la tensión de contacto si no se recurre a medidas adicionales de seguridad.

Para el presente MT, con objeto de evitar el riesgo por tensión de contacto, se considera exclusivamente la medida adicional "a", emplazándose una acera perimetral de hormigón a 1,2 m de la cimentación del apoyo. Embebido en el interior de dicho hormigón se instalará un mallado electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,3 x 0,3 m, a una profundidad de al menos 0,1 m. Este mallado se conectará a un punto a la puesta a tierra de protección del apoyo. El esquema indicado para las diferentes configuraciones tipo, se representan en las figuras 8 y 9.

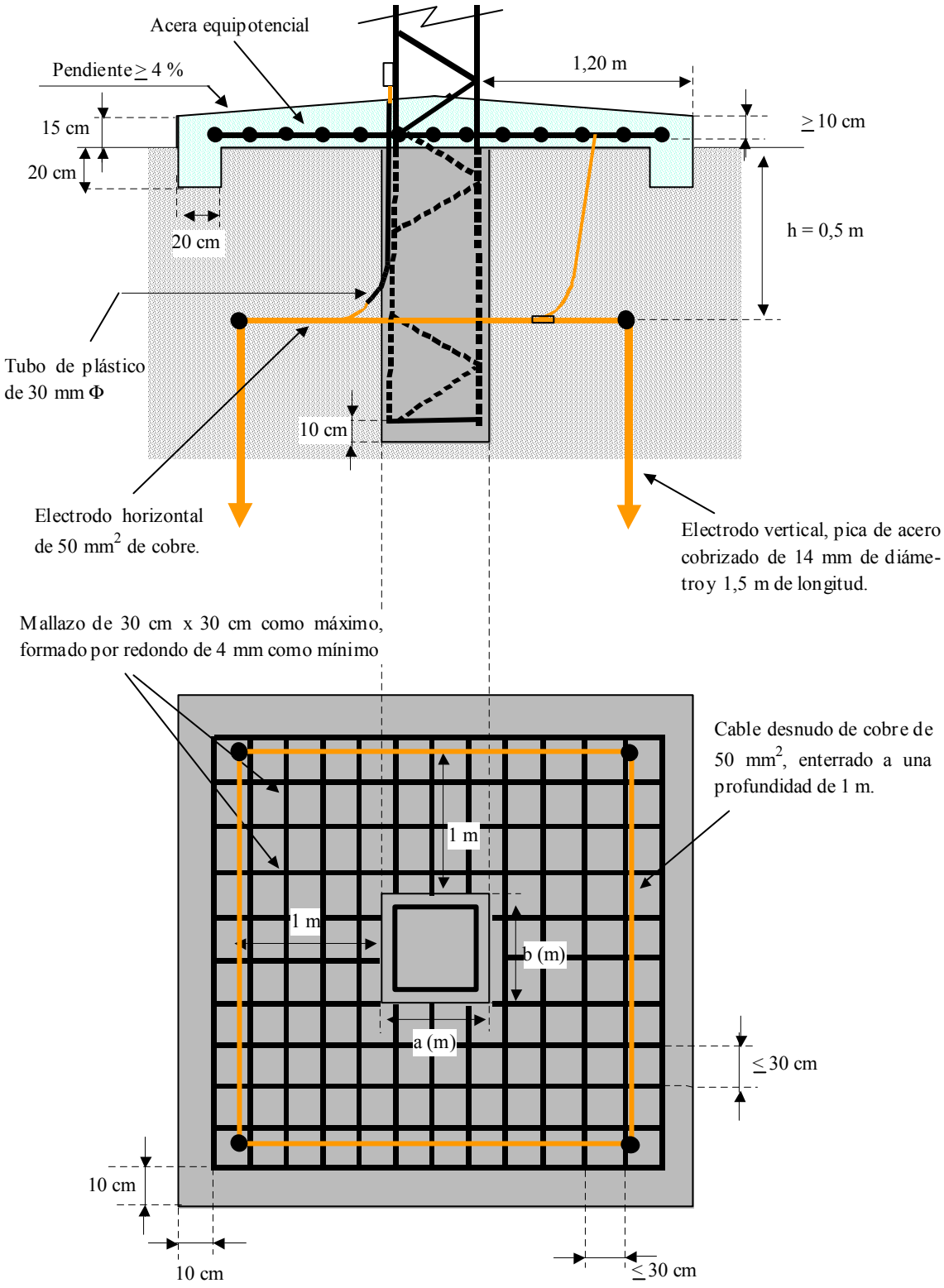

Acera equipotencial
Pendiente ≥ 4 %
1,20 m
15 cm
20 cm
≥ 10 cm
20 cm
h = 0,5 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm² de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Mallazo de 30 cm x 30 cm como máximo, formado por redondo de 4 mm como mínimo
Cable desnudo de cobre de 50 mm², enterrado a una profundidad de 1 m.
1 m
1 m
b (m)
a (m)
≤ 30 cm
10 cm
10 cm
≤ 30 cm

Figura 8.- Acera de hormigón, con mallazo equipotencial, perimetral con la cimentación del apoyo, empleado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado.

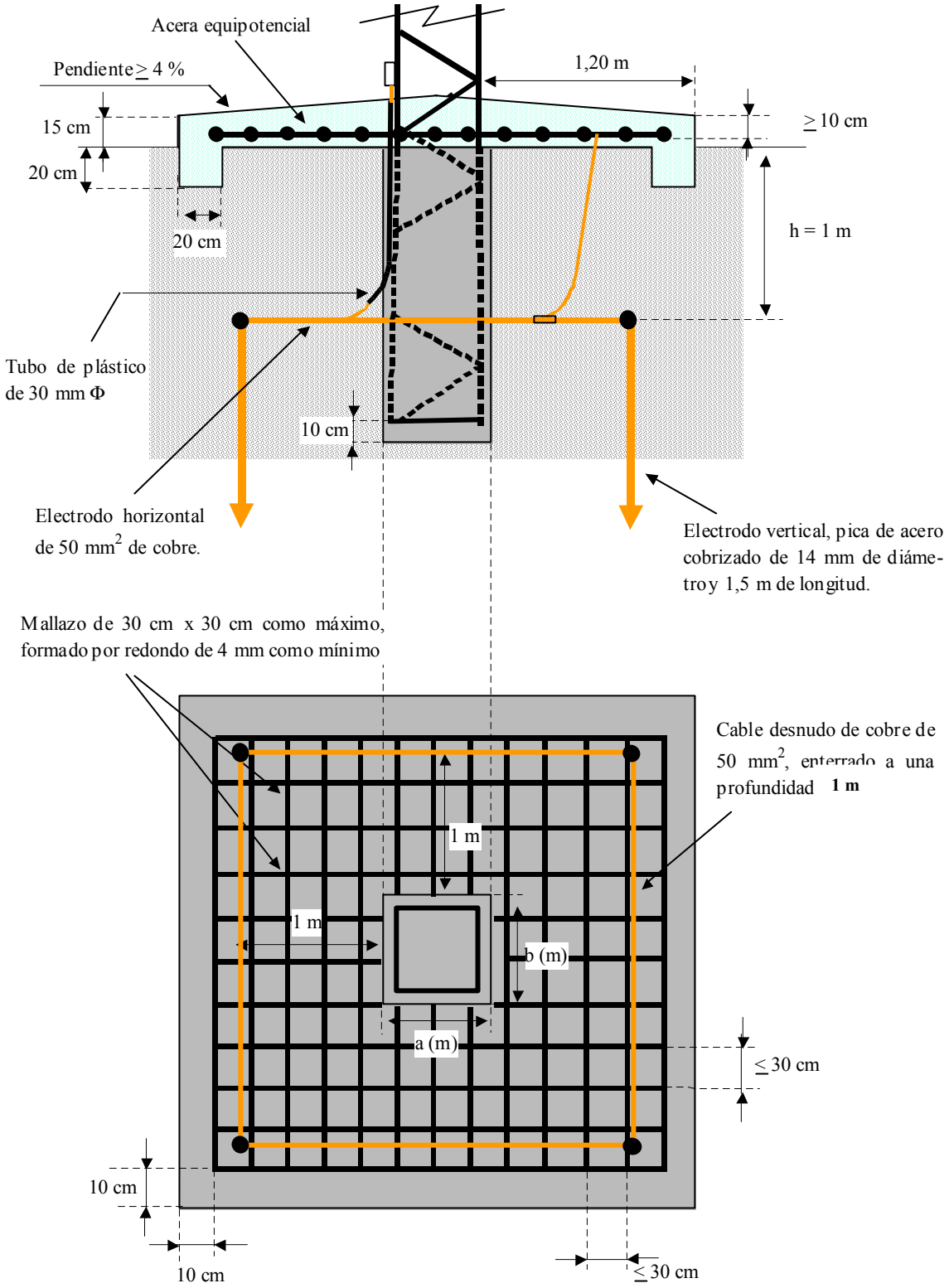

Acera equipotencial
Pendiente ≥ 4 %
15 cm
20 cm
20 cm
1,20 m
≥ 10 cm
h = 1 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm² de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Mallazo de 30 cm x 30 cm como máximo, formado por redondo de 4 mm como mínimo
Cable desnudo de cobre de 50 mm², enterrado a una profundidad 1 m
1 m
1 m
b (m)
a (m)
≤ 30 cm
10 cm
10 cm
≤ 30 cm

Figura 9.- Acera de hormigón, con mallazo equipotencial, perimetral con la cimentación del apoyo, empleado en líneas aéreas con apoyos frecuentados sin calzado.

En el caso de adoptar esta medida adicional, no será necesario calcular la tensión de contacto aplicada ya que es cero, pero será necesario cumplir con los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas. Para ello deberá tomarse como referencia lo establecido en la MIE-RAT 13 del RCE.

9) Determinación de la tensión de paso máxima que aparece en la instalación, en caso de adoptar la medida adicional.

Aplicando el método de Howe, se determina la tensión de paso máxima que aparece en la instalación. En este caso se determinarán dos valores de la tensión de paso:

a. Tensión de paso máxima en las proximidades del electrodo, con los dos pies en el terreno. En la figura 10 se indican los puntos donde se deben de obtener los valores de la tensión de paso, seleccionando posteriormente el valor máximo de los obtenidos.

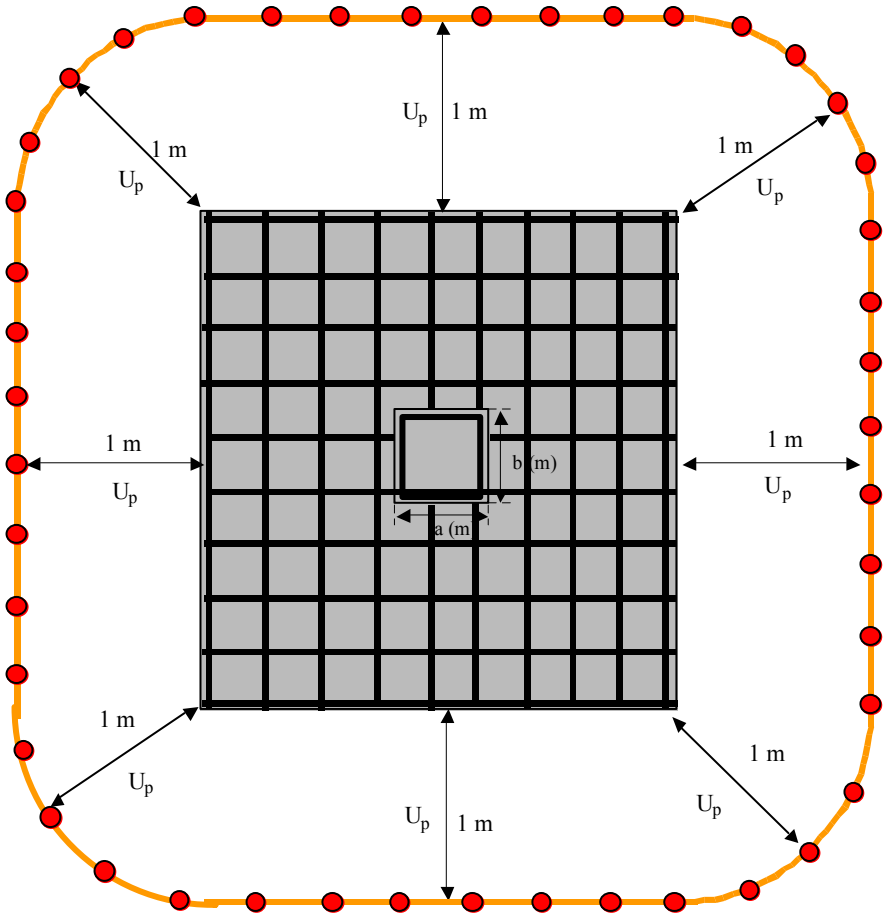


Figura 10.- Puntos donde se obtiene el valor máximo de la tensión de paso.

Los valores máximos de la tensión de paso, en voltios, con los dos pies en el terreno, para cada una de las configuraciones tipo establecidas en este MT, se pueden obtener multiplicando el coeficiente K_p, indicado en las tablas 11 y 12, por el valor de la resistividad del terreno en Ω.m y por el valor de la intensidad máxima de defecto a tierra I'_{1F} ,en amperios.

Designación del electrodo	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
CPT-LA-26 / 0,5	0,028
CPT-LA-28 / 0,5	0,026
CPT-LA-30 / 0,5	0,024
CPT-LA-32 / 0,5	0,023
CPT-LA-34 / 0,5	0,022
CPT-LA-36 / 0,5	0,021
CPT-LA-38 / 0,5	0,020
CPT-LA-40 / 0,5	0,020
CPT-LA-42 / 0,5	0,019
CPT-LA-44 / 0,5	0,018
CPT-LA-46 / 0,5	0,018
CPT-LA-48 / 0,5	0,017
CPT-LA-50 / 0,5	0,016

Tabla 11. Coeficiente de tensión de paso K_p, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado, con los dos pies en el terreno.

Designación del electrodo	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
CPT-LA-26 / 1	0,017
CPT-LA-28 / 1	0,016
CPT-LA-30 / 1	0,015
CPT-LA-32 / 1	0,014
CPT-LA-34 / 1	0,014
CPT-LA-36 / 1	0,013
CPT-LA-38 / 1	0,013
CPT-LA-40 / 1	0,012
CPT-LA-42 / 1	0,012
CPT-LA-44 / 1	0,011
CPT-LA-46 / 1	0,011
CPT-LA-48 / 1	0,011
CPT-LA-50 / 1	0,010

Tabla 12. Coeficiente de tensión de paso K_p, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aérea con apoyos frecuentados sin calzado, con los dos pies en el terreno.

b. Tensión de paso con un pié en la acera y otro en el terreno.

El valor de la tensión de paso con un pie en la acera y otro en el terreno coincide con la tensión de paso de acceso, de forma que un pié estaría a la tensión de puesta a tierra del apoyo y el otro pié sobre el terreno a 1 m de distancia de la acera.

Los valores máximos de la tensión de paso, en voltios, con un píe en la acera y otro en el terreno, para cada una de las configuraciones tipo establecidas en este MT, se pueden obtener multiplicando el coeficiente K_p, indicado en las tablas 13 y 14, por el valor de la resistividad del terreno en Ω.m y por el valor de la intensidad máxima de defecto a tierra I'_{1F} ,en amperios.

Designación del electrodo	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
CPT-LA-26 / 0,5	0,076
CPT-LA-28 / 0,5	0,072
CPT-LA-30 / 0,5	0,068
CPT-LA-32 / 0,5	0,065
CPT-LA-34 / 0,5	0,062
CPT-LA-36 / 0,5	0,06
CPT-LA-38 / 0,5	0,057
CPT-LA-40 / 0,5	0,055
CPT-LA-42 / 0,5	0,053
CPT-LA-44 / 0,5	0,051
CPT-LA-46 / 0,5	0,049
CPT-LA-48 / 0,5	0,048
CPT-LA-50 / 0,5	0,046

Tabla 13. Coeficiente de tensión de paso K_p, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aéreas con apoyos frecuentados con calzado, con un pie en la acera y otro en el terreno.

Designación del electrodo	K_p $\left(\frac{V}{(\Omega.m).A}\right)$
CPT-LA-26 / 1	0,071
CPT-LA-28 / 1	0,067
CPT-LA-30 / 1	0,064
CPT-LA-32 / 1	0,061
CPT-LA-34 / 1	0,059
CPT-LA-36 / 1	0,056
CPT-LA-38 / 1	0,054
CPT-LA-40 / 1	0,052
CPT-LA-42 / 1	0,050
CPT-LA-44 / 1	0,048
CPT-LA-46 / 1	0,047
CPT-LA-48 / 1	0,045
CPT-LA-50 / 1	0,044

Tabla 14. Coeficiente de tensión de paso K_p, para cada tipo de electrodo utilizado en líneas aérea con apoyos frecuentados sin calzado, con un pie en la acera y otro en el terreno.

10) Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento de la tensión de paso.

La determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones en caso de falta a tierra), que garantiza el cumplimiento de la tensión de paso, es función de la tensión máxima de paso aplicada, según indica la MIE-RAT 13 del RCE. El valor dicha tensión se obtiene de la expresión 3, siendo su valor:

$$U'_{pa1} = \frac{U'_{p.1}}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_S}{Z_b}} \quad (V) \qquad (5a)$$

$$U'_{pa2} = \frac{U'_{p.2}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_S + 3\rho_s^*}{Z_b}} \quad (V) \qquad (5b)$$

Los valores de U'_{p1} y U'_{p2} se obtienen de las tablas 11, 12, ó 13 y 14, para tensiones de paso con dos pies en el terreno o un pie en el terreno y el otro sobre la plataforma equipotencial (acera), respectivamente.

En función de los valores de U´pa1 y U´pa2 obtenidos, se puede calcular la duración máxima admisible de la falta, utilizando para ello la forma de la curva Upa en función del tiempo especificada en la MIE-RAT 13.

- $t > 5$ s, si $U'_{pa} \leq 500$ V
- $3 \text{ s} \leq t \leq 5 \text{ s}$, si $500 \text{ V} < U'_{pa} \leq 640$ V
- $\mathbf{t = \sqrt[n]{\frac{10.K}{U'_{pa}}}}$ (6) , si $U'_{pa} > 640$ V

donde:

K = 72 y n = 1 para tiempos inferiores o iguales a 0,9 y mayores de 0,1 segundo.

K = 78,5 y n = 0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos.

t = duración de la falta en segundos.

11) Verificación del sistema de puesta a tierra elegido, junto con la medida adicional.

El sistema de puesta a tierra elegido junto con la medida adicional adoptada, será válido siempre y cuando el tiempo de actuación de las protecciones instaladas en la red de distribución, para el caso de faltas a tierra, sea inferior a los dos tiempos obtenidos en el apartado anterior.

La característica de actuación de las protecciones, para el caso de faltas a tierra, instaladas en las líneas aéreas de Iberdrola, de tensión nominal igual o inferior a 20 kV, cumple con la relación siguiente:

$$I'_{1F}.t = 400$$

siendo $I'_{1F,}$ la intensidad de la corriente de defecto a tierra, en amperios y t, el tiempo de actuación de las protecciones en segundos.

Para las configuraciones de puesta a tierra adoptadas en el presente MT, con la característica de protección de defecto a tierra especificada y las resistividades del terreno indicadas, se cumple con requisitos del RLAT. Cuando las condiciones no fueran las que figuran en el presente MT, el proyectista deberá realizar el cálculo o justificación correspondiente.

6 MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DE PASO APLICADA

Para la medición de la tensión de paso aplicada deberá usarse un método por inyección de corriente.

Se emplearán fuentes de alimentación de potencia adecuada para simular el defecto, de forma que la corriente inyectada sea suficientemente alta, a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes vagabundas o parásitas circulantes por el terreno.

Consecuentemente, y a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de dichas corrientes parásitas, por ejemplo, método de inversión de la polaridad, se procurará que la intensidad inyectada sea del orden del 1 por 100 de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación y en cualquier caso no inferior a 50 A.

Los cálculos se harán suponiendo que para determinar las tensiones de paso posibles máximas existe proporcionalidad entre la intensidad inyectada y la intensidad de puesta a tierra.

Los electrodos de medición para la simulación de los pies, con una resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de cada pié de valor Ra2=3ρs, donde ρs es la resistividad superficial del suelo, deberán tener cada uno un área de 200 cm2 y estarán presionando sobre la tierra con una fuerza mínima de 250 N. Para la medición de la tensión de paso en cualquier parte de la instalación, dichos electrodos deberán estar situados, sobre el terreno, a una distancia de un metro. Para suelo seco u hormigón conviene colocar entre el suelo y los electrodos un paño húmedo o una película de agua.

Las mediciones se realizarán con un voltímetro de resistencia interna 1000 Ω, que representa la impedancia del cuerpo humano, Z_B. Un terminal del voltímetro será conectado a un electrodo que simula un pié y el otro terminal al electrodo que simula el otro pié. De esta forma, el voltímetro indicará directamente el valor de la medición de la tensión de paso aplicada. $U'_{pa} = U_{Voltimetro}$, siempre que la intensidad inyectada sea igual a la intensidad de puesta a tierra.

En el caso de considerarse la resistencia adicional, Ra1, como, por ejemplo, el calzado, se podrá emplear un voltímetro de resistencia interna suma de la resistencia adicional (R_{a1}) considerada y la resistencia del cuerpo humano (Z_B = 1000 Ω). En este caso, el valor de la medición de la tensión de paso aplicada, U'pa, vendrá determinado por:

$$U'_{pa} = U_{Voltimetro} \times \left[\frac{Z_B}{R_{a1} + Z_B} \right]$$

7 VIGILANCIA PERIÓDICA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La instalación de puesta a tierra deberá ser comprobada en el momento de su establecimiento y revisada, al menos, una vez cada 6 años.

La vigilancia periódica de las líneas aéreas permitirá detectar modificaciones sustanciales de sus condiciones de diseño que justifiquen la verificación de la medida de la tensión de contacto aplicada. Por ejemplo, cuando un apoyo no frecuentado adquiera la condición de frecuentado debido a desarrollos urbanísticos o nuevas infraestructuras, o aquellos casos en los que el terreno donde se sitúa un apoyo frecuentado cambia sustancialmente su resistividad, debido por ejemplo a su asfaltado o ajardinamiento.

8 PROTOCOLO DE VALIDACIÓN EN CAMPO

8.1 APOYOS NO FRECUENTADOS

1) Se medirá la resistencia del sistema de puesta a tierra, R_m (Ω), en el apoyo considerado.

2) Si el valor obtenido para R_m es inferior al indicado en la tabla 15, el sistema de puesta a tierra del apoyo es adecuado.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	**Máximo valor de la resistencia de puesta a tierra, $R_{máx}$ (Ω)**
13,2	150
15	175
20	230

Tabla 15.- Valores máximos de la resistencia a tierra en apoyos no frecuentados

8.2 APOYOS FRECUENTADOS CON CALZADO

1) Se medirá la resistencia del sistema de puesta a tierra, R_m (Ω), en el apoyo considerado.

2) Se calculará el valor de la intensidad de defecto a tierra existente en la instalación, mediante la expresión:

$$I'_{1F} = \frac{1{,}1.U_n}{\sqrt{3}.\sqrt{X_{LTH}^2 + R_m^2}}$$

siendo los valores de U_n y X_{LTH}, los indicados en la tabla 16, para cada uno de los tipos de puesta a tierra del neutro en la subestación.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Tipo de puesta a tierra del neutro en la subestación	Reactancia equivalente X_{LTH} (Ω)
13,2	Rígido	1,863
13,2	Reactancia 4 Ω	4,5
15	Rígido	2,117
15	Reactancia 4 Ω	4,5
20	Reactancia 5,2 Ω	5,7
20	Zig-zag 500 A	25,4
20	Zig-zag 1000 A	12,7

Tabla 16.- Reactancia equivalente en la subestación

3) Se calculará el tiempo de actuación de las protecciones en caso de defecto a tierra mediante la expresión:

$$t = \frac{400}{I'_{1F}} \quad (s)$$

4) Se determinará el valor admisible de la tensión de paso aplicada a la persona, en función del tiempo *t,* calculado anteriormente, según se indica a continuación.

$$\begin{aligned} &Para \quad t > 5s \quad \rightarrow \quad U_{máx.pa} \leq 500\,V \\ &Para \quad 3s \leq t \leq 5s \quad \rightarrow \quad U_{máx.pa} \leq 640\,V \\ &Para \quad t < 3s \quad \rightarrow \quad U_{máx.pa} \leq 10.\frac{K}{t^n}V \end{aligned}$$

Siendo el valor de K y n los indicados a continuación:

- K = 72 y n = 1 para tiempos inferiores o iguales a 0,9 segundos.
- K = 78,5 y n = 0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos.

5) Se medirán dos valores de la tensión de paso, U_{pam1} (V) y U_{pam2} (V).

Para la medición de la tensión de paso aplicada deberá usarse un método por inyección de corriente.

Se emplearán fuentes de alimentación de potencia adecuada para simular el defecto, de forma que la corriente inyectada sea suficientemente alta, a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes vagabundas o parásitas circulantes por el terreno.

Consecuentemente, y a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de dichas corrientes parásitas, por ejemplo, método de inversión de la polaridad, se procurará que la intensidad inyectada sea del orden del 1 por 100 de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación y en cualquier caso no inferior a 50 A.

Se anotará el valor de la intensidad inyectada $I_{m,}$ en amperios.

Los cálculos se harán suponiendo que para determinar las tensiones de contacto posibles máximas existe proporcionalidad entre la intensidad inyectada y la intensidad de puesta a tierra I'_{1F}.

Los electrodos de medición para la simulación de los pies con una resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de valor $R_{a2}=1,5\rho_s$, donde ρ_s es la resistividad superficial del suelo, deberán tener cada uno un área de 200 cm^2 y estarán presionando sobre la tierra con una fuerza mínima de 250 N. Para la medición de la tensión de paso en cualquier parte de la instalación, dichos electrodos, situados en el suelo, deberán estar separados entre sí a una distancia de un metro. Para suelo seco u hormigón conviene colocar entre el suelo y los electrodos un paño húmedo o una película de agua.

Las mediciones se realizarán con un voltímetro de resistencia interna 1000 Ω, que representa la impedancia del cuerpo humano.

Para obtener la tensión de paso aplicada, en el caso de apoyos frecuentados con calzado, se insertará en el circuito de medida una resistencia en serie de 4000 Ω, que simulará la resistencia del calzado de los pies de la persona. Para obtener la tensión de paso aplicada, en el caso de apoyos frecuentados sin calzado, no será necesaria la inserción de la mencionada resistencia.

La primera medida de la tensión de paso aplicada, U_{pam1} (V), se efectuará con los electrodos de medición, que simulan los pies de la persona, distanciados a 1 m en las dos posiciones indicadas en la figura 11. Uno de los electrodos se colocará encima de la acera equipotencial y el otro sobre el terreno.

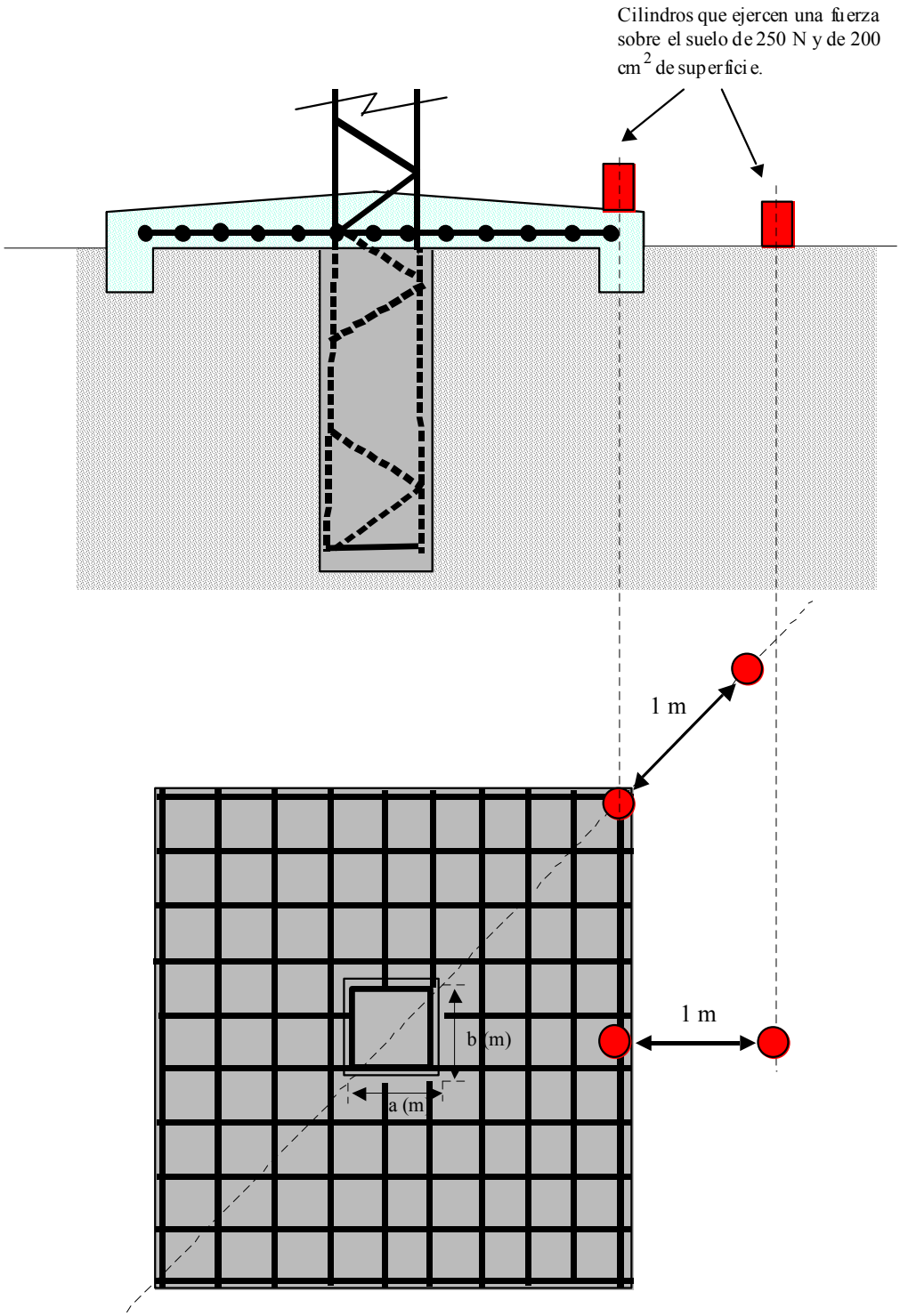


Figura *Figura 11.- Medida de la tensión de paso con un electrodo de medición colocado sobre la plataforma equipotencial y otro sobre el terreno*

Un terminal del voltímetro será conectado a uno de los electrodos que simula un pié y el otro terminal a la resistencia de 4000 Ω conectada en serie con el otro electrodo. De esta forma, el voltímetro indicará directamente el valor de la medición de la tensión de paso aplicada. $U_{pam1} = U_{Voltimetro}$, siempre que la intensidad inyectada, I_m, sea igual a la intensidad de puesta a tierra, I'_{1F}.

Cuando la intensidad inyectada, I_m, sea sólo una fracción de la intensidad de puesta a tierra, I'_{1F}, la tensión de paso aplicada se calculará como:

$$U_{pam1} = U_{Voltimetro} \cdot \frac{I'_{IF}}{I_m}$$

La mayoría de los medidores de tensiones de paso aplicada indican la tensión corregida según la fórmula anterior, es decir multiplicando la tensión de medida con el voltímetro por el factor, I'_{1F}/I_m. Para ello el valor de I'_{1F}, se debe de introducir mediante el teclado en la memoria del medidor de tensión de paso.

Si se emplea para la medición un voltímetro de resistencia interna suma de la resistencia adicional del calzado (R_{a1}=4000 Ω) considerada y la resistencia del cuerpo humano (Z_B = 1000 Ω), el valor de la medición de la tensión de paso aplicada, U_{pa}, vendrá determinado por:

$$U_{pam1} = \frac{U_{Voltimetro}}{5}$$

En este último caso, si además la intensidad inyectada, I_m, es sólo una fracción de la intensidad de puesta a tierra, I'_{1F}, la tensión de contacto aplicada se calculará como:

$$U_{pam1} = \frac{U_{Voltimetro}}{5} \cdot \frac{I'_{IF}}{I_m}$$

La segunda medida, U_{pam2} (V), se efectuará con los electrodos del equipo de medida, que simulan los pies de la persona, distanciados a 1 m, según se indica en la figura 12. Los dos electrodos se colocarán sobre el suelo.

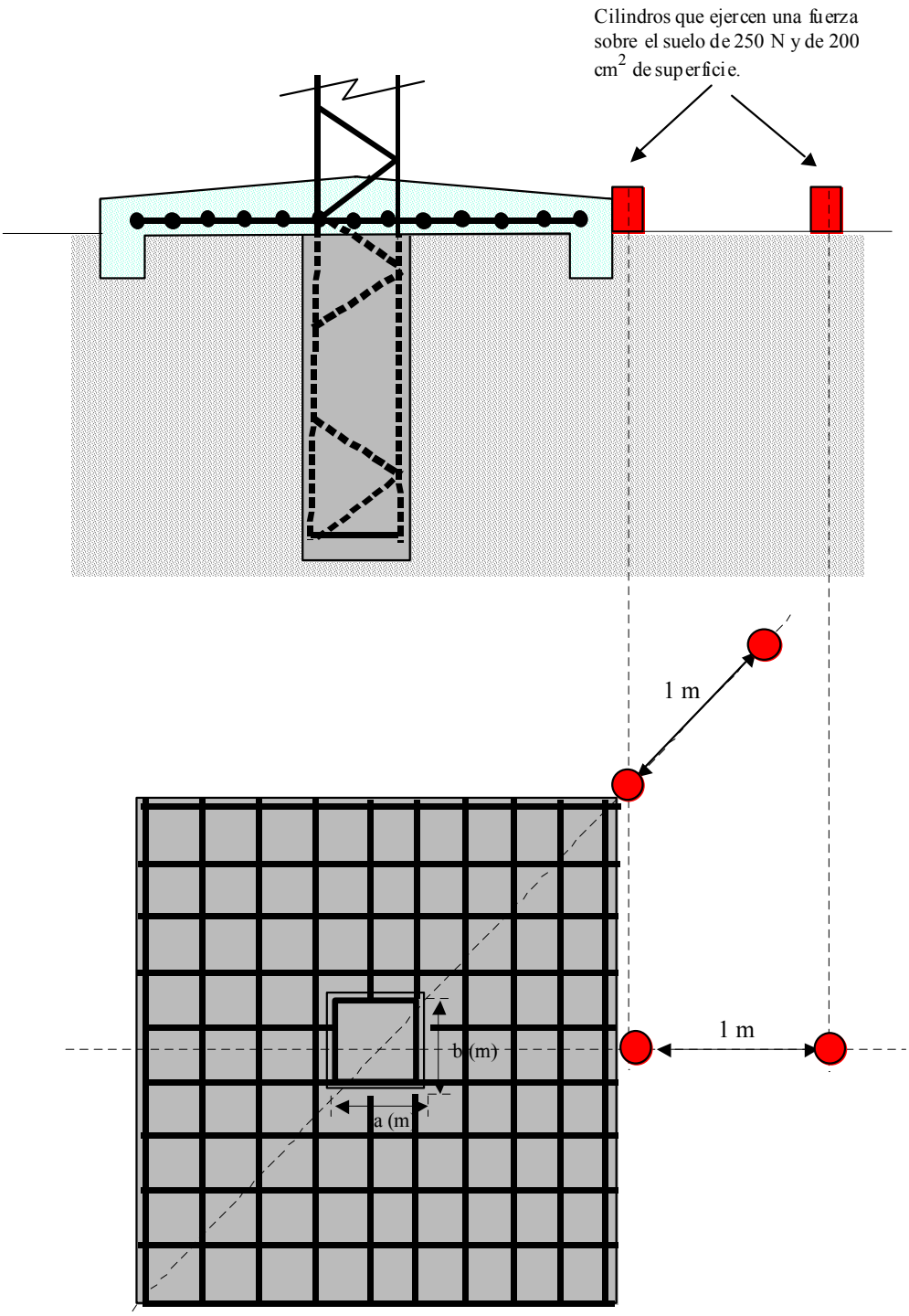


Figura 12.- Medida de la tensión de paso con los dos electrodos te medición colocados sobre el terreno.

6) Si el mayor valor de entre los obtenidos para las medidas de U_{pam1} y U_{pam2} es menor o igual que el valor admisible de la tensión de paso aplicada calculada en el apartado 4), el diseño de la puesta a tierra del apoyo es adecuado, cumpliendo con los requisitos establecidos en la ITC LAT 07 del RLAT.

Anexo 1

HOJA DE TOMA DE DATOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN APOYOS NO FRECUENTADOS

Identificación de la línea: ……

APOYO Nº	Tensión nominal de la red U_n (V)	Resistencia máxima de puesta a tierra $R_{máx}$ (Ω)	Valor obtenido de la resistencia R_m (Ω)	$R_m < R_{máx}$ SI ---- CUMPLE NO ------ NO CUMPLE
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		
	13,2	150		
	15	175		
	20	230		

Anexo 2

HOJA DE TOMA DE DATOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN APOYOS FRECUENTADOS

Identificación de la línea: ……

APOYO Nº	Tensión nominal de la red U_n(V)	Valor medido de la resistencia de puesta a tierra R_m (Ω)	Valor considerado de la reactancia X_{LTH} (Ω)	Intensidad calculada de defecto a tierra I'_{1F} (A)	Tiempo calculado de actuación de la protección t (s)	Valor de la tensión de paso aplicada admisible, $U_{pa.adm}$ (V)	Intensidad inyectada con el medidor I_m (A)	Valores medidos de las tensiones de paso aplicadas		Valor mayor de la tensión de paso obtenida, corregida $U_{pa} = máx(U_{pam1}, U_{pam2}).\frac{I'_{1F}}{I_m}$ (V)	$U_{pa} \leq U_{pa.adm}$ SI --- CUMPLE NO -- NO CUMPLE
								U_{pam1} (V)	U_{pam2} (V)		

Anexo 3
APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROCEDIMIENTO INDICADO EN EL MT, PARA EL DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA EN APOYOS DE LÍNEAS AÉREAS DE TENSIÓN NOMINAL INFERIOR O IGUAL A 20 kV.

DATOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN:

- Tensión nominal de la línea: $U_n = 20\ kV$
- Intensidad máxima de falta a tierra: $I_{1F} = 2228\ A$
- Resistividad del terreno: $\rho = 400\ \Omega.m$
- Características de actuación de las protecciones: $I'_{1F}.t = 400$

Con los datos anteriores, diseñar la puesta a tierra para un apoyo cuya cimentación (dado de hormigón), sea de dimensiones 1,2 m x 1,2 m.

Solución:

a) Apoyo no frecuentado

- Para este caso se elige un electrodo formado por 2 picas (véase la figura 2) cuyo coeficiente kr, indicado en la tabla 5, tiene por valor:

$$K_r = 0{,}244\,\frac{\Omega}{\Omega.m}$$

- Resistencia de tierra

$$R_t = K_r.\rho = 0{,}244.400 = 97{,}6\ \Omega$$

- Reactancia equivalente de la subestación es:

$X_{LTH} = 5{,}7\ \Omega$ (Apartado 5.4.3.3 punto 3)

- Cálculo de la intensidad de la corriente de puesta a tierra en el apoyo

$$I'_{1F} = \frac{1{,}1.U_n}{\sqrt{3}.\sqrt{X_{LTH}^2 + R_t^2}} = \frac{1{,}1.20000}{\sqrt{3}.\sqrt{5{,}7^2 + 97{,}6^2}} = 129{,}9\ A$$

La protección automática, instalada para el caso de faltas a tierra, para la intensidad máxima de defecto a tierra ($I'_{1F} = I_{1F} = 2228$ A), actúa en un tiempo:

Anexo 3

$$t = \frac{400}{2228} = 0{,}18 \;\; s \quad < 1 \; s$$

Para un valor de la intensidad de defecto de 129,9 A, el tiempo de actuación de la protección será:

$$t = \frac{400}{129{,}9} = \quad 3{,}07 \;\; s \quad < 10 \; s$$

En nuestro caso, con la característica proporcionada de las protecciones se cumple, tal como especifica el apartado 7.3.4.3 de la ITC LAT-07 del RLAT, que:

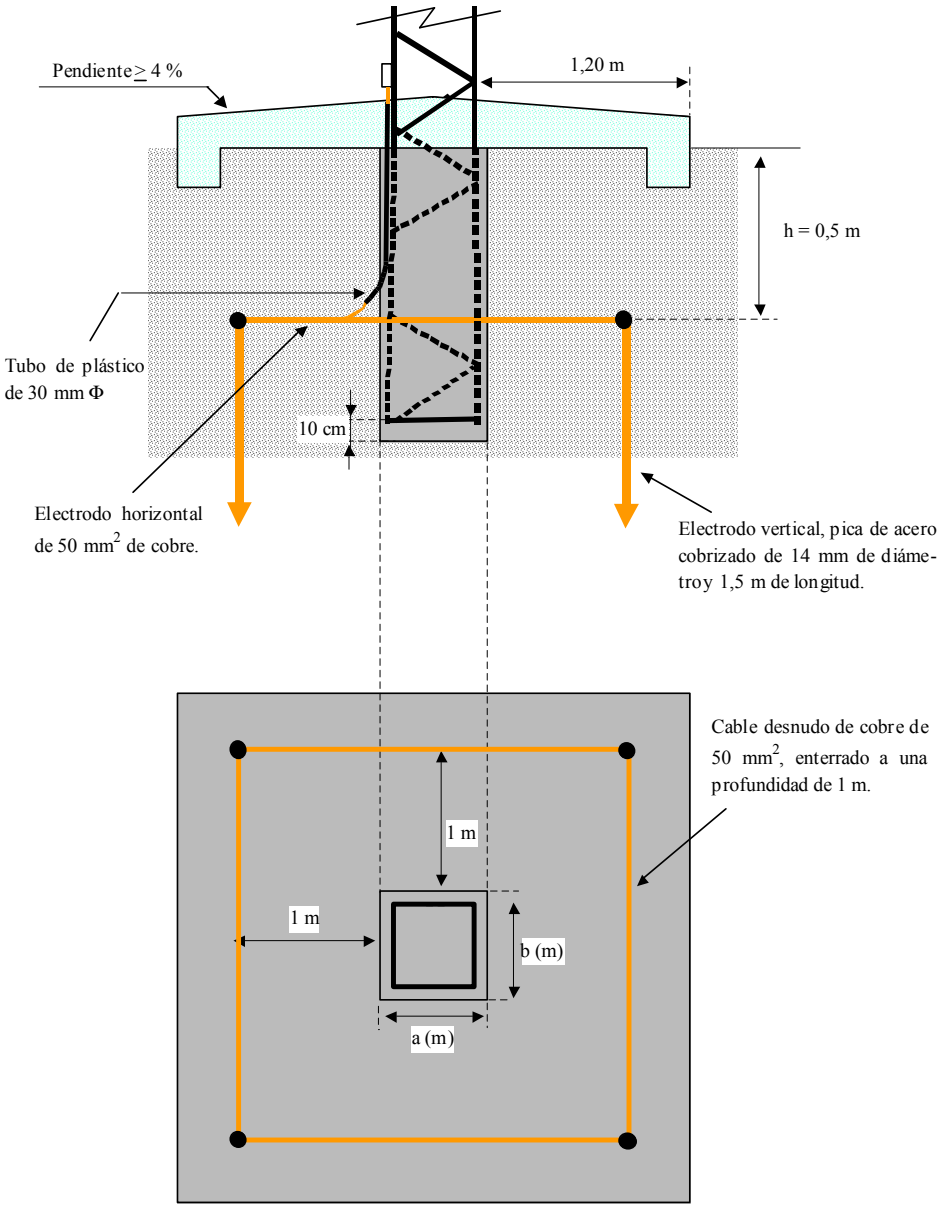
El tiempo de actuación de las protecciones es inferior a 1 s (para la corriente máxima de defecto a tierra).

El electrodo utilizado, con valor de resistencia de puesta a tierra menor o igual de 230 Ω, es válido para garantizar la actuación automática de las protecciones en caso de defecto a tierra.

Anexo 3

b) <u>Apoyo frecuentado con calzado</u>

- Electrodo utilizado: CPT-LA-32 / 0,5 (Tabla 2, apartado 5.3.4.3 punto 2 del MT)


Pendiente ≥ 4 %
1,20 m
h = 0,5 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm² de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Cable desnudo de cobre de 50 mm², enterrado a una profundidad de 1 m.
1 m
1 m
b (m)
a (m)

$$K_r = 0{,}113\,\frac{\Omega}{\Omega.m}$$ (Tabla 5, Apartado 5.3.4.3 punto 2 del MT)

- Resistencia de tierra

$$R_t = K_r.\rho = 0{,}113.400 = 45{,}2\ \Omega$$

Anexo 3

- Reactancia equivalente de la subestación

$$X_{LTH} = 5{,}7\ \Omega \text{ (Tabla 8, apartado 5.3.4.3 punto 3 del MT)}$$

- Cálculo de la intensidad de la corriente de puesta a tierra en el apoyo

$$I'_{1F} = \frac{1{,}1.U_n}{\sqrt{3}.\sqrt{X_{LTH}^2 + R_t^2}} = \frac{1{,}1.20000}{\sqrt{3}.\sqrt{5{,}7^2 + 45{,}2^2}} = 278{,}8\ A$$

- Cálculo de la tensión de contacto admisible en la instalación

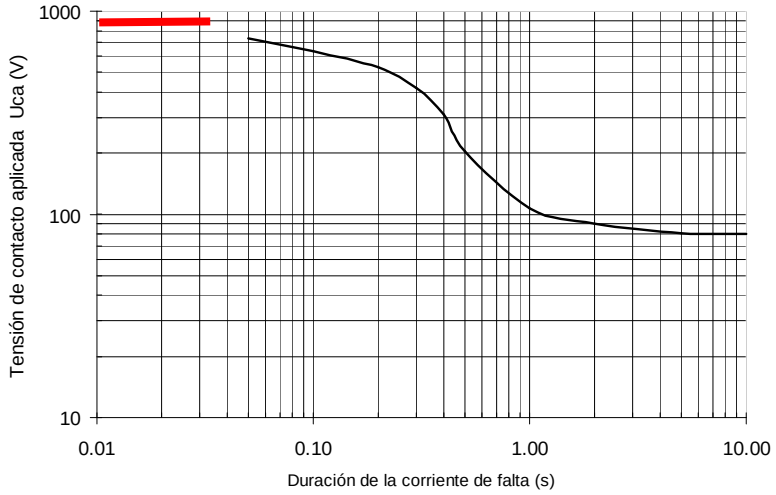
$$K_c = 0{,}035\ \frac{V}{A.(\Omega.m)} \text{ (Tabla 9, Apartado 5.3.4.3 punto 4 del MT)}$$

$$U'_c = K_c.\rho.I'_{1F} = 0{,}035.400.278{,}8 = 3903{,}2\ V$$

- Cálculo de la tensión de contacto aplicada

$$U'_{ca} = \frac{U_c}{1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2.Z_b}} = \frac{3903{,}2}{1 + \frac{2000 + 1200}{2.1000}} = 1501{,}2\ V \text{ (Apartado 5.3.4.3 punto 6 del MT)}$$

- Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento del RLAT (Apartado 5.3.4.3 punto 7 del MT)



Anexo 3

Según la gráfica el tiempo de actuación de las protecciones para el valor de U'_{ca} resultaría de 0.02 segundos, pero nunca se consideran tiempos inferiores de 0,1 s., por lo que finalmente las protecciones deberían actuar en menos de 0,1 s.

- Verificación del sistema de puesta a tierra elegido (Apartado 5.3.4.3 punto 8 del MT)

El tiempo de actuación de la protección es:

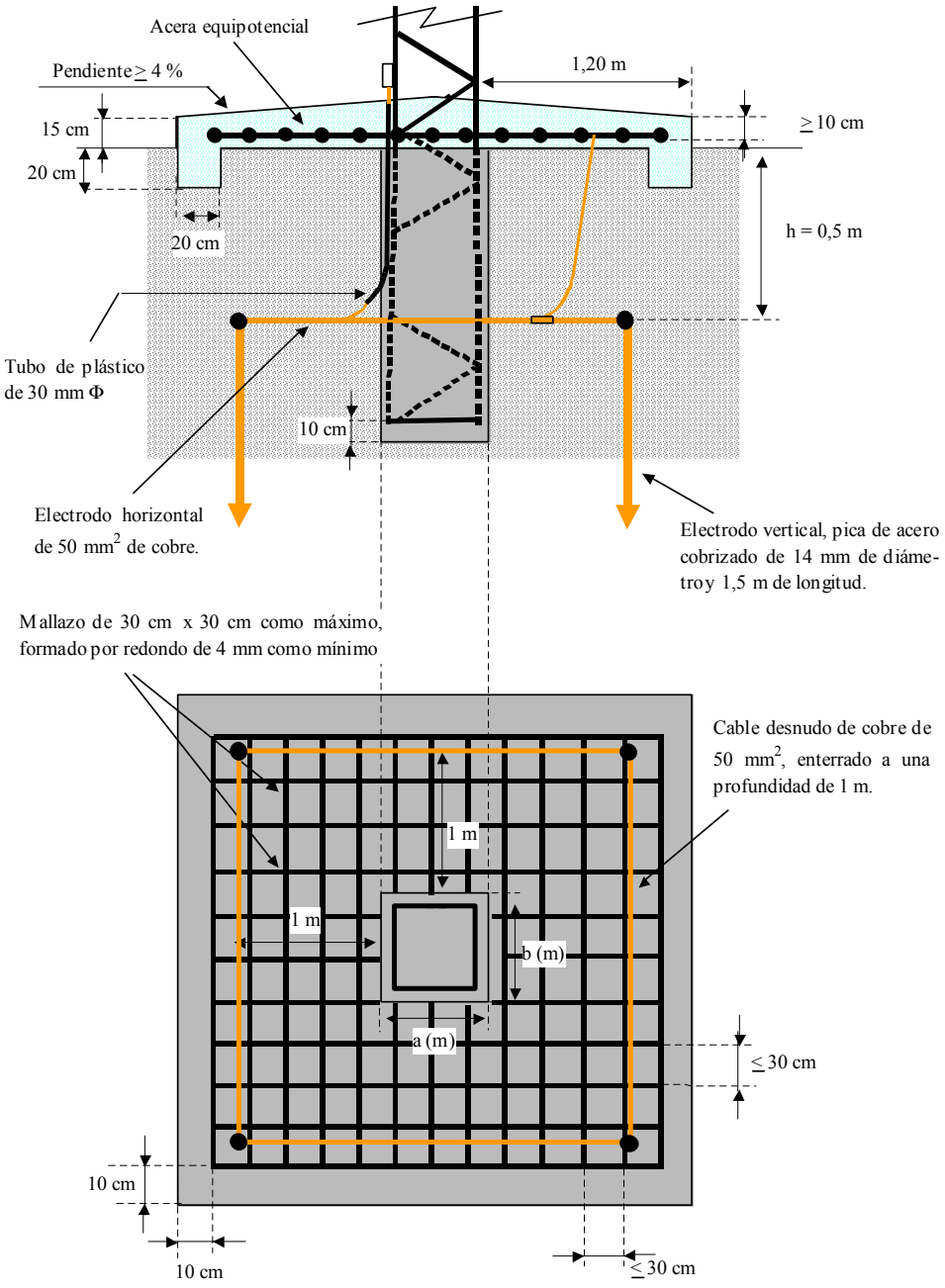
$$t = \frac{400}{I'_{1F}} = \frac{400}{278,8} = 1,43\ s$$

Como $t > 0,1\ s$. no se cumple con el requisito reglamentario.

Se adoptan medidas adicionales para que la tensión de contacto aplicada sea cero y se verifica el cumplimiento de la tensión de paso, según el RCE.

Con objeto de que la tensión de contacto sea cero, se emplaza una acera perimetral de hormigón a 1,2 m de la cimentación del apoyo. Embebido en el interior de dicho hormigón se instalará un mallado electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,3 x 0,3 m, a una profundidad de al menos 0,1 m. Este mallado se conectará a un punto a la puesta a tierra del apoyo. El esquema indicado se representa en la figura siguiente:

Anexo 3


Acera equipotencial
Pendiente ≥ 4 %
15 cm
20 cm
20 cm
1,20 m
≥ 10 cm
h = 0,5 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm² de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Mallazo de 30 cm x 30 cm como máximo, formado por redondo de 4 mm como mínimo
Cable desnudo de cobre de 50 mm², enterrado a una profundidad de 1 m.
1 m
1 m
b (m)
a (m)
≤ 30 cm
10 cm
10 cm
≤ 30 cm

- Determinación de la tensión de paso máxima que aparece en la instalación, en caso de adoptar la medida adicional.

  - Apoyo frecuentado con calzado, con los dos pies en el terreno:

$$K_{p1} = 0{,}023\,\frac{V}{A.(\Omega.m)}$$ (Tabla 11, Apartado 5.3.4.3 punto 9 del MT)

Anexo 3

$$U'_{p1} = K_{p1}.\rho.I'_{1F} = 0{,}023.400.278{,}8 = 2564{,}96\ V$$

- Apoyo frecuentado con calzado, con un pie en la acera y el otro en el terreno:

$K_{p2} = 0{,}065\ \frac{V}{A.(\Omega.m)}$ (Tabla 13, Apartado 5.3.4.3 punto 9 del MT)

$$U'_{p2} = K_{p2}.\rho.I'_{1F} = 0{,}065.400.278{,}8 = 7249\ V$$

- Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento de la tensión de paso.

Tensión máxima aplicada a la persona:

- Apoyo frecuentado con calzado, con los dos pies en el terreno:

$$U'_{pa1} = \frac{U'_{p1}}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_S}{Z_b}} \quad (V) \quad \text{(Apartado 5.3.4.3, punto 10 del MT)}$$

$$U'_{pa1} = \frac{2564{,}96}{1 + \frac{2.2000 + 6.400}{1000}} = 347\ V$$

- Apoyo frecuentado con calzado, con un pie en la acera y el otro en el terreno:

$$U'_{pa2} = \frac{U'_{p2}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_S + 3\rho_s^*}{Z_b}} \quad (V) \quad \text{(Apartado 5.3.4.3, punto 10 del MT)}$$

$$U'_{pa2} = \frac{7249}{1 + \frac{2.2000 + 3.400 + 3.3000}{1000}} = 477\ V$$

El tiempo de actuación de la protección es:

Anexo 3

$$t = \frac{400}{I'_{1F}} = \frac{400}{278,8} = 1,44\ s$$

Según el RCE, el valor de la tensión de paso aplicada máxima admisible no será superior a:

$$U_{pa.adm} = 10.\frac{K}{t^n}$$

siendo K = 78,5 y n = 0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos. En este caso:

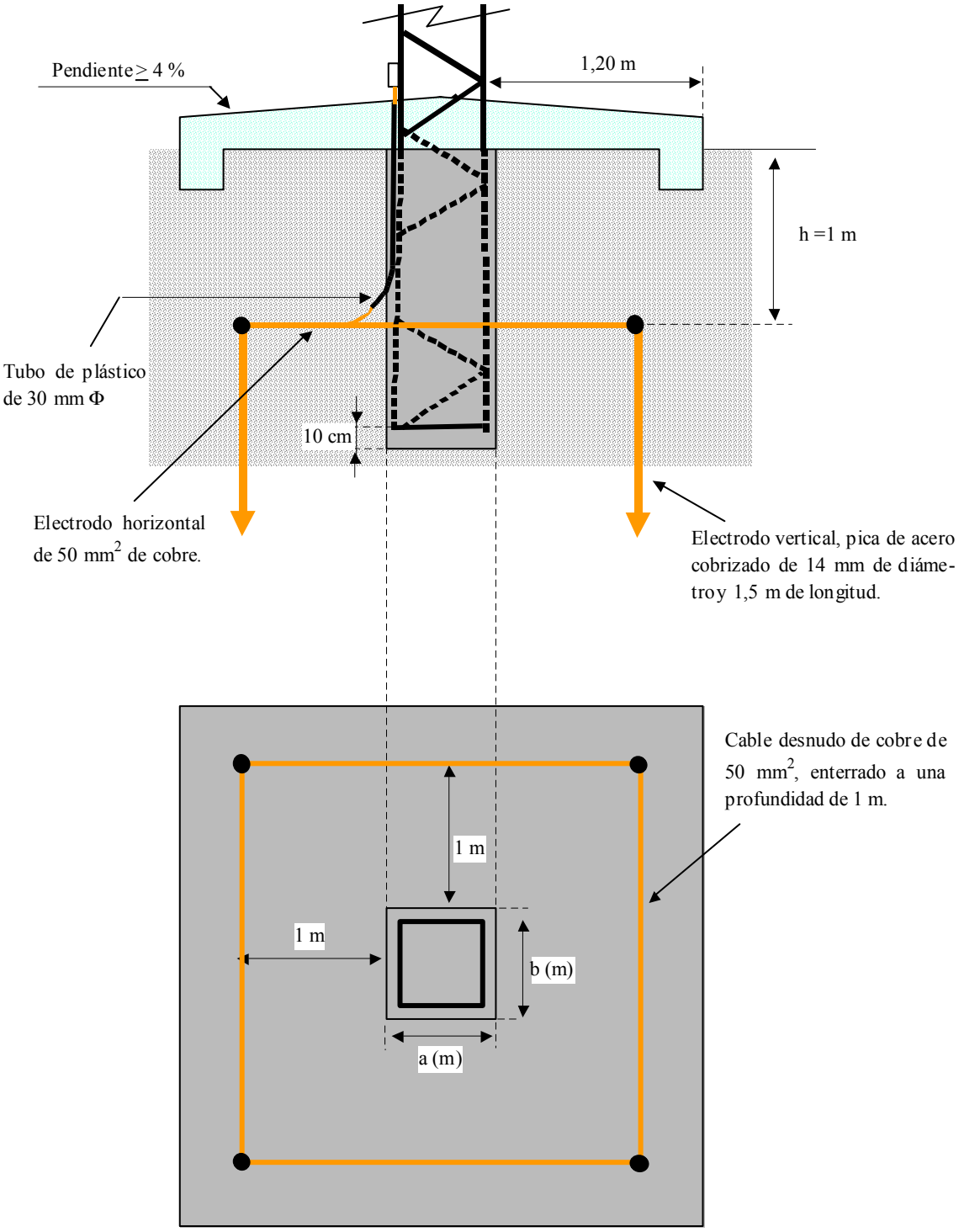
$$U_{pa.adm} = 10.\frac{78,5}{1,44^{0,18}} = 735\ V$$

Como, $U'_{pa1} = 347\ V < 735\ V$ y $U'_{pa2} = 477\ V < 735\ V$ el electrodo considerado, CPT-LA-32/0,5, cumple con el requisito reglamentario. Además el electrodo seleccionado presenta una resistencia de valor, $R_t = 45,2\ \Omega$, valor inferior al exigido, de 50 Ω, según se especifica en el apartado 5.3.4.3, punto 2.

Anexo 3

Apoyo frecuentado sin calzado

- Electrodo utilizado: CPT-LA-32 / 1 (Tabla 3, apartado 5.3.4.3 punto 2 del MT)


Pendiente ≥ 4 %
1,20 m
h =1 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm² de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Cable desnudo de cobre de 50 mm², enterrado a una profundidad de 1 m.
1 m
1 m
b (m)
a (m)

Anexo 3

$$K_r = 0{,}106\ \frac{\Omega}{\Omega.m}$$ (Tabla 7, Apartado 5.3.4.3 punto 2 del MT)

- Resistencia de tierra

$$R_t = K_r.\rho = 0{,}106.400 = 42{,}4\ \Omega$$

- Reactancia equivalente de la subestación

$$X_{LTH} = 5{,}7\ \Omega$$ (Apartado 5.3.4.3 punto 3 del MT)

- Cálculo de la intensidad de la corriente de puesta a tierra en el apoyo

$$I'_{1F} = \frac{1{,}1.U_n}{\sqrt{3}.\sqrt{X_{LTH}^2 + R_t^2}} = \frac{1{,}1.20000}{\sqrt{3}.\sqrt{5{,}7^2 + 42{,}4^2}} = 296{,}9\ A$$

- Cálculo de la tensión de contacto admisible en la instalación

$$K_c = 0{,}036\ \frac{V}{A.(\Omega.m)}$$ (Tabla 10, Apartado 5.3.4.3 punto 4 del MT)

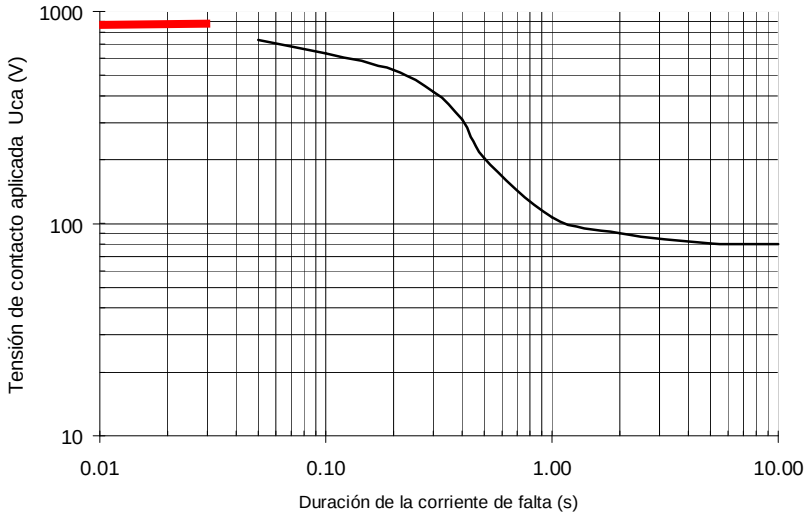
$$U'_c = K_c.\rho.I'_{1F} = 0{,}036.400.296{,}89 = 4.275{,}21\,V$$

- Cálculo de la tensión de contacto aplicada

$$U'_{ca} = \frac{U_c}{1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2.Z_b}} = \frac{4275{,}21}{1 + \frac{0 + 3.400}{2.1000}} = 2.672\,V$$ (Apartado 5.3.4.3 punto 6 del MT)

- Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento del RLAT (Apartado 5.3.4.3 punto 7 del MT).

Anexo 3



Según la gráfica el tiempo de actuación de las protecciones para el valor de Uca, resultaría de 0,01s, pero nunca se consideran tiempos menores de 0,1s, por lo que finalmente las protecciones deberían actuar en menos de 0,1s

- Verificación del sistema de puesta a tierra elegido (Apartado 5.3.4.3 punto 8 del MT)

El tiempo de actuación de la protección es:

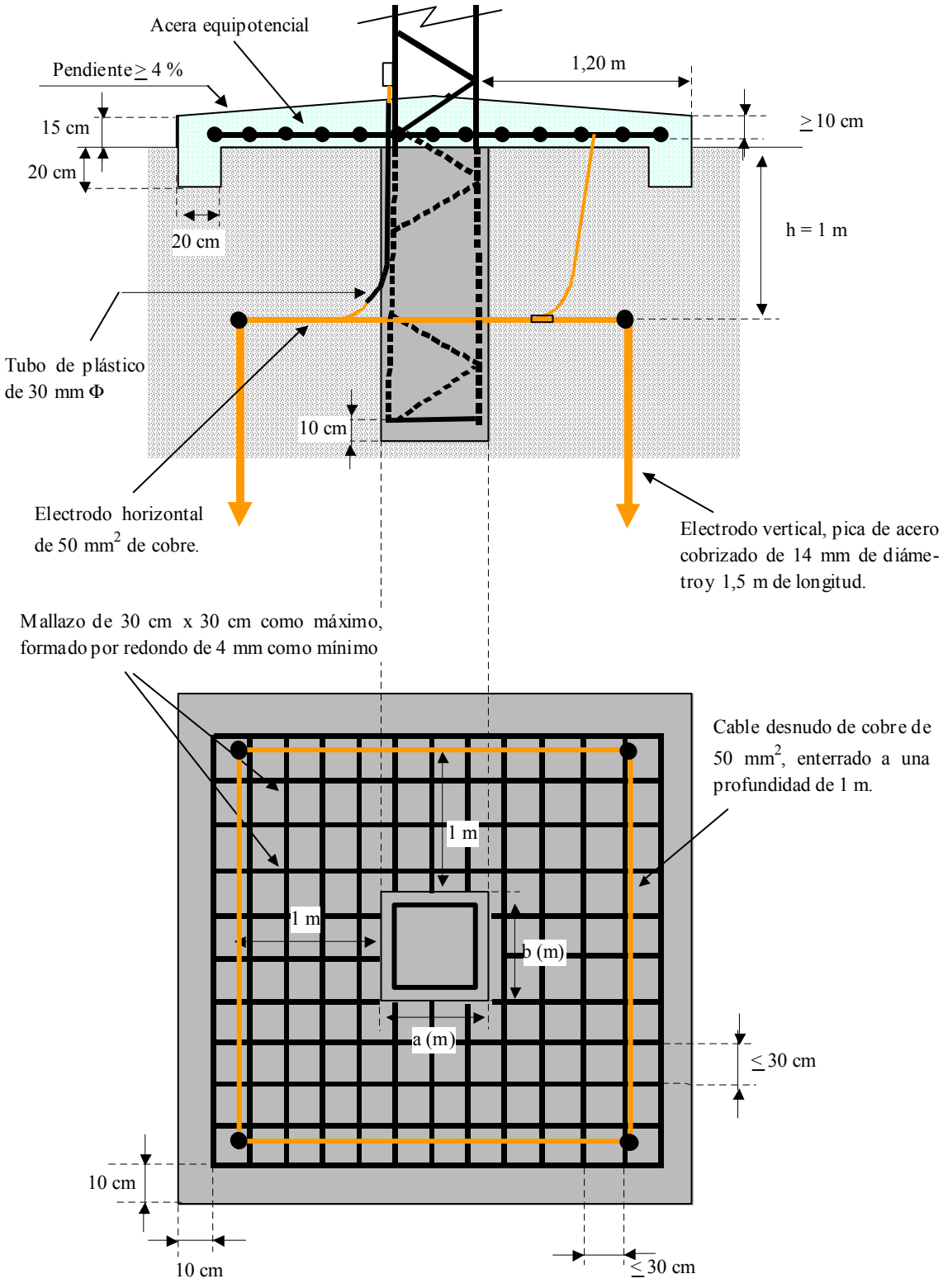
$$t = \frac{400}{I'_{1F}} = \frac{400}{296{,}9} = 1{,}35\ s$$

Como $t > 0{,}1\ s$. no se cumple con el requisito reglamentario.

Se adoptan medidas adicionales para que la tensión de contacto aplicada sea cero y se verifica el cumplimiento de la tensión de paso, según el RCE.

Con objeto de que la tensión de contacto sea cero, se emplaza una acera perimetral de hormigón a 1,2 m de la cimentación del apoyo. Embebido en el interior de dicho hormigón se instalará un mallado electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,3 x 0,3 m, a una profundidad de al menos 0,1 m. Este mallado se conectará a un punto de la puesta a tierra del apoyo. El esquema indicado se representa en la figura siguiente:

Anexo 3


Acera equipotencial
Pendiente ≥ 4 %
15 cm
20 cm
20 cm
1,20 m
≥ 10 cm
h = 1 m
Tubo de plástico de 30 mm Φ
10 cm
Electrodo horizontal de 50 mm² de cobre.
Electrodo vertical, pica de acero cobrizado de 14 mm de diámetro y 1,5 m de longitud.
Mallazo de 30 cm x 30 cm como máximo, formado por redondo de 4 mm como mínimo
Cable desnudo de cobre de 50 mm², enterrado a una profundidad de 1 m.
1 m
1 m
b (m)
a (m)
≤ 30 cm
10 cm
10 cm
≤ 30 cm

- Determinación de la tensión de paso máxima que aparece en la instalación, en caso de adoptar la medida adicional.

Anexo 3

- Apoyo frecuentado sin calzado, con los dos pies en el terreno:

$$K_{p1} = 0{,}014 \frac{V}{A.(\Omega.m)}$$ (Tabla 12, Apartado 5.3.4.3 punto 9 del MT)

$$U'_{p1} = K_{p1}.\rho.I'_{1F} = 0{,}014.400.296{,}9 = 1662{,}6\ V$$

- Apoyo frecuentado sin calzado, con un pie en la acera y el otro en el terreno:

$$K_{p2} = 0{,}061 \frac{V}{A.(\Omega.m)}$$ (Tabla 14, Apartado 5.4.3.3, punto 9)

$$U'_{p2} = K_{p2}.\rho.I'_{1F} = 0{,}061.400.296{,}9 = 7244{,}4\ V$$

- Determinación de la duración de la corriente de falta (tiempo de actuación de las protecciones) que garantiza el cumplimiento de la tensión de paso.

Tensión máxima aplicada a la persona:

- Apoyo frecuentado sin calzado, con los dos pies en el terreno:

$$U'_{pa1} = \frac{U'_{p1}}{1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_S}{Z_b}} \quad (V)$$ (Apartado 5.3.4.3 punto 10 del MT)

$$U'_{pa1} = \frac{1662{,}6}{1 + \frac{0 + 6.400}{1000}} = 489\ V$$

- Apoyo frecuentado sin calzado, con un pie en la acera y el otro en el terreno:

$$U'_{pa2} = \frac{U'_{p2}}{1 + \frac{2R_{a1} + 3\rho_S + 3\rho_s^*}{Z_b}} \quad (V)$$ (Apartado 5.3.4.3 punto 10 del MT)

$$U'_{pa2} = \frac{7244{,}4}{1 + \frac{0 + 3.400 + 3.3000}{1000}} = 646{,}8\ V$$

Anexo 3

El tiempo de actuación de la protección es:

$$t = \frac{400}{I'_{1F}} = \frac{400}{296,9} = 1,35\ s$$

Según el RCE, el valor de la tensión de paso aplicada máxima admisible no será superior a:

$$U_{pa.adm} = 10.\frac{K}{t^n}$$

siendo K = 78,5 y n = 0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos. En este caso:

$$U_{pa.adm} = 10.\frac{78,5}{1,17^{0,18}} = 763\ V$$

Como, $U'_{pa1} = 489\ V < 763\ V$ y $U'_{pa2} = 646,8\ V < 763\ V$, el electrodo considerado, CPT-LA-32/1, cumple con el requisito reglamentario. Además el electrodo seleccionado presenta una resistencia de valor, $R_t = 42,4\ \Omega$, valor inferior al exigido por Iberdrola, de 50 Ω, según se especifica en el apartado 5.3.4.3, punto 2 del MT.

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

L.C.O.E.
LABORATORIO CENTRAL OFICIAL
DE ELECTROTECNIA

F²I²
FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO
DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL

Exp. Nº: 200912900004-13

Otorga el presente

Certificado de Conformidad con la legislación nacional vigente en materia de seguridad industrial en el ámbito eléctrico.

Reglamento de Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
(R.D. 3275/1982 y actualizaciones hasta la fecha).

Reglamento de Líneas de Alta Tensión
(R.D. 223/2008 y actualizaciones hasta la fecha).

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión
(*R.D. 842/2002 y actualizaciones hasta la fecha).*

De la normativa MT 2.23.35 Edición 1ª de julio de 2010: "Diseño de puestas a tierra en apoyos de LAAT de tensión nominal igual o inferior a 20 kV"

De la Empresa Distribuidora de Energía IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA, S.A.

Dpto. Técnico

Pedro Luis Moros Fernández

V°B°

FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL F²I²

Pascual Simón Comín

En Getafe, a 15 de julio de 2010.

El presente certificado no tiene validez sin el Informe Técnico correspondiente.

Exp. Nº 200912900004-13

INFORME TÉCNICO

Del MT 2.23.35 Edición 1ª de julio de 2010 *"Diseño de puestas a tierra en apoyos de LAAT de tensión nominal igual o inferior a 20 kV"* de la empresa distribuidora de energía IBERDROLA DISTRIBUCIÓN S.A (se adjunta proyecto tipo sellado).

Se ha verificado la conformidad de la citada normativa con la reglamentación y disposiciones siguientes:

1. Ley 54/1197 del Sector Eléctrico.
2. Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, aprobado por el Real Decreto 3275/1982 del 12 de noviembre y publicado en el BOE del 1 de diciembre de 1982.
3. Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, aprobadas por la Orden del 5 de julio de 1984 y sus correspondientes modificaciones y correcciones hasta la Orden del 10 de marzo de 2000 así como su corrección de errores, publicados en el BOE del 18 de octubre de 2000.
4. Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, aprobado por el Real Decreto 223/2008.
5. Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por el Real Decreto 842/2002 y publicado en el BOE de 18 de septiembre de 2002, con sus actualizaciones hasta la fecha.
6. Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, publicados ambos en el BOE de 18 de septiembre de 2002, con sus actualizaciones hasta la fecha.
7. Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de las instalaciones de energía eléctrica.

CONCLUSIÓN: CUMPLE con la reglamentación verificada con la siguiente observación.

Observación:

1. El alcance del presente Certificado incluye el proyecto tipo MT 2.23.35 Edición 1ª, de julio de 2010 pero no las normas de consulta ni cualquier otro documento o norma en él referenciados.

Y para que así conste, se expide el presente informe en Getafe, a 15 de julio de 2010.

Fdo: Pedro Luis Moros Fernández

FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL F²I²

Fdo: Pascual Simón Comín.